

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



ANÁLISE, INTERPRETAÇÃO E INTEGRAÇÃO DE DADOS PÚBLICOS DE CAMPANHAS *ODP* E *DSDP*  
NA MARGEM OESTE IBÉRICA AO LARGO DE VIANA DO CASTELO – PORTO – FIGUEIRA DA FOZ

Eduardo Miguel Moreira Máximo

**Mestrado em Geologia**  
Especialização em Estratigrafia, Sedimentologia e Paleontologia

Dissertação orientada por:  
Professor Doutor Nuno Lamas de Almeida Pimentel

2016

---

(Página intencionalmente deixada em branco)

---

## Resumo

O objectivo deste trabalho é a análise, interpretação e integração de dados públicos de campanhas *ODP* e *DSDP* na Margem Oeste Ibérica (MOI) ao largo de Viana do Castelo – Porto – Figueira da Foz, em particular do potencial gerador das “*black shales*” do Cretácico observadas no *deep offshore*. O trabalho consistiu então no estudo de poços no *shallow* e *deep offshore* e na interpretação de linhas sísmicas regionais. Nesta análise foram identificados os principais eventos tectono-estratigráficos que controlaram a evolução das bacias no seu sector mais profundo, tendo sido ainda realizada uma análise da maturação térmica das “*black shales*” em áreas depocêntricas onde estas estão sujeitas a *overburdens* significativos.

A zona de estudo teve já algum histórico de exploração de hidrocarbonetos no final do século XX até há 22 anos atrás, tendo sido realizadas cinco campanhas exploratórias com perfuração no *shallow offshore* e dez sondagens principais das campanhas *IODP* no *deep offshore*. Foram ainda realizadas várias campanhas de aquisição sísmica 2D, a última das quais realizada no ano 2008. A Oeste da zona de estudo encontra-se a Planície Abissal Ibérica, a Sul o Canhão Submarino da Nazaré, a Este a região continental entre Caminha e Figueira da Foz e a Norte os Bancos da Galiza. A profundidade da coluna de água na área de estudo varia entre os 110 metros na zona mais proximal e os 5400 metros na zona mais distal.

A evolução da zona de estudo deste trabalho está relacionada com a fracturação da Pangea e com o processo de *rifting* que deu origem ao Oceano Atlântico Norte. O *rifting* começou há 216 Ma, entre o Triásico Superior e o Jurássico Inferior, estando associado à abertura do Atlântico Norte e atingiu o seu *clímax* há 145 Ma, entre o Berriasiano e o Valanginiano. Após este momento deu-se o preenchimento da margem pela *breakup sequence* até ao final do Cretácico Superior, tendo sido na fase inicial deste preenchimento que se depositaram as “*black shales*”. De seguida ocorreu uma fase de *drift* entre o Albiano e o Cenomaniano e, desde então, ocorreu uma inversão contínua da área de estudo que se divide em três fases, a primeira entre o Turoniano e o Paleocénico Médio, a segunda entre o Paleocénico Superior e o Miocénico Médio e a terceira desde o Miocénico Superior à actualidade.

As sondagens utilizadas neste trabalho foram as sondagens do *shallow offshore* da Bacia do Porto e as sondagens *IODP* no *deep offshore* da zona de estudo. No entanto, uma vez que o grande objectivo deste trabalho é a avaliação do potencial gerador das “*black shales*” do Albiano e visto que estas não se observam no *shallow offshore* onde o seu equivalente é a Formação de Torres Vedras, não houve qualquer possibilidade de estabelecer uma correlação estratigráfica entre o *shallow* e o *deep offshore*. A sondagem de maior importância para este trabalho foi então a sondagem *DSDP* 47-398, onde foram observadas as “*black shales*” que demonstram um bom

---

potencial como rocha geradora. Apenas no *shallow offshore* foram observadas sondagens evidenciando geração e acumulação de hidrocarbonetos embora estes intervalos geradores sejam de idade Jurássica e não tenham relevância para o trabalho em questão.

A principal unidade de interesse deste trabalho é a *Breakup Sequence* que se depositou entre o topo do Aptiano e o Turoniano e como já foi referido, é nesta unidade que foram observadas “*black shales*” no furo *DSDP* 47-398. As “*black shales*” do Cretácico foram depositadas num ambiente de águas profundas e apresentam uma espessura máxima de cerca de 500 metros. Estas possuem valores médios de *TOC* que variam entre 1 e 1,5 %wt, embora tenham atingido um máximo de 7,3 %wt e a sua origem é maioritariamente proveniente de plantas terrestres do Cretácico Inferior tratando-se de matéria orgânica reciclada e redepositada.

A interpretação sismo-estratigráfica esta baseou-se principalmente na interpretação de Soares *et al.* (2012) mas também na interpretação de Alves *et al.* (2006), Soares *et al.* (2014) e Casacão (2015). A calibração final da interpretação foi feita através de *crosslines* com as linhas PD00-903 e 902 interpretadas por Soares *et al.* (2012) ou através de outras linhas previamente interpretadas. A selecção de horizontes a considerar baseou-se essencialmente nos horizontes referenciados pelo *Groupe Galice* (1979) embora possua algumas modificações. Esta interpretação foi realizada em sísmica 2D e permitiu um melhor entendimento da evolução tectónica e da estratigrafia da zona de estudo, permitindo ainda delimitar os pacotes associados à *Breakup Sequence* na qual se encontram as “*black shales*” do Cretácico e verificar quais as áreas depocêntricas sujeitas a *overburdens* significativos.

Através da utilização do *software* PetroMod (IES-Schlumberger) foram realizados exercícios de modelação, de forma a avaliar a maturação térmica das “*black shales*” que demonstraram ter potencial gerador. Essa avaliação é realizada através do *overburden* das unidades geradoras cruzando essa informação com a litologia, o *TOC* (Carbono Total Orgânico), o *HI* (Índice de Hidrogénio), a profundidade da coluna de água e os *heat flows* ao longo do tempo. A partir destes dados de geoquímica orgânica, cinética do querógeno e condições-fronteira (Fluxo de Calor, Paleobatimetria e Superfície de interface água-sedimento) define-se a curva de variação da temperatura ao longo do tempo e o seu impacto na entrada da janela de geração de hidrocarbonetos. Os modelos térmicos produzidos indicam o momento crítico da expulsão de um determinado hidrocarboneto e influenciam a avaliação dos *timings* de eventos dos sistemas petrolíferos.

#### **Palavras-chave:**

Margem Oeste Ibérica (MOI) ; *International Ocean Drilling Program* (IODP) ;  
*Black shales* ; *Breakup Sequence*; Modelação térmica



---

# Abstract

The aim of this work is the analysis, interpretation and integration of public ODP and DSDP campaigns data in the Western Iberia Margin (MOI) off the coast of Viana do Castelo - Porto - Figueira da Foz, in particular the evaluation of the source rock potential of the Cretaceous "black shales" observed in the deep offshore. The work consisted in the study of shallow and deep offshore wells and in the interpretation of regional seismic lines. This analysis consisted on the identification of the main tectono-stratigraphic events that controlled the basin's evolution in the study area and was also performed a maturity analysis of the Albian "black shales" in depocentric areas where these are subject to significant overburdens.

The study area had some hydrocarbon exploration record at the end of the XX century, until 22 years ago, with five exploration wells drilled in shallow offshore, ten main wells from IODP campaigns in the deep offshore and several 2D seismic acquisition campaigns that lasted until 2008. In the West edge of the study area is located the Iberian Abyssal Plain, at South is located the Nazaré Submarine Canyon, in the East lies the mainland between Caminha and Figueira da Foz and at North are located the Galicia Banks. The depth of the water column in the study area ranges between 110 meters at the most proximal zone and 5400 meters at the most distal zone.

The study area evolution is related to the fracturing of Pangea, through the multiphased rifting process that ultimately originated the Northern Atlantic Ocean. This process began in the Late Triassic/Early Jurassic, being associated with the opening of the North Atlantic and reached its climax between the Berriasian and Valangian. After that began the filling of the margin by the breakup sequence until the end of the Upper Cretaceous, being in this initial phase that the area was filled with the "black shales". Then there was a drift phase between the Albian and Cenomanian and since then there has been a continuous tectonic inversion phase of the study area which is divided into three phases: the first one between the Turonian and the Middle Paleocene, the second one between the Upper Paleocene and the Middle Miocene and the third one since the Upper Miocene to the present.

The wells used in this study were the shallow offshore wells from the Porto Basin and the IODP wells in the deep offshore of the study area. However, since the main objective of this study is the evaluation of the source rock potential of the Albian "black shales" and since these are not observed in the shallow offshore wherein the equivalent is the Torres Vedras Formation, there was no possibility of establishing any kind of stratigraphic correlation between the shallow and deep offshore. The most important well studied in this work was the DSDP 47-398 well, where the "black shales" were observed and showed good potential as source rock. Only in the shallow

---

offshore, wells were observed showing hydrocarbons generation and accumulation although these generating intervals are from Jurassic age and have no relevance in this work.

The main unit of interest of this work is the Breakup Sequence that was deposited between the top of the Aptian and the Turonian. As already mentioned, it was in this unit that the "black shales" from DSDP hole 47-398 were observed. The Cretaceous "black shales" were deposited in a deep water environment and these have a maximum thickness of about 500 meters. These have TOC average values ranging from 1 to 1.5 wt%, although they have reached a maximum of 7.3% wt and its origin is mostly derived from land-based plants of the Lower Cretaceous. This organic matter is recycled and redeposited.

The seismic stratigraphic interpretation is primarily based in the interpretation of Soares et al. (2012) but also in the interpretation of Alves et al. (2006), Soares et al. (2014) and Casação (2015). The final calibration of this interpretation was performed using crosslines with the PD00-903 and 902 lines interpreted by Soares et al. (2012) or by other previously interpreted lines. The selection of horizons to consider was primarily based on the horizons referenced by Groupe Galice (1979) although it has some changes. This interpretation was performed on 2D seismic and allowed a better understanding of the tectonic evolution and stratigraphy of the study area, allowing the delimitation of the packages associated with the Breakup Sequence in which the Albian "black shales" could be found, also allowing to check which depocentric areas are subject to significant overburdens.

By using the PetroMod software (Schlumberger-HEI), modeling exercises were performed in order to evaluate the maturity of the "black shales". This evaluation was performed through the overburden of the "black shales", crossing this information with lithology, TOC (Total Organic Carbon), HI (Hydrogen Index), paleobathymetry, surface-water interface temperature and heat flows over time. The integration of organic geochemical data, kerogen kinetics and the establishment of boundary conditions (heat flow, paleobathymetry and surface-water sediment interface) lead to define the depocentric areas thermal evolution through time and its impact on the hydrocarbon generation windows. The results thermal modeling may show the critical moment of a particular hydrocarbon expulsion and influence the evaluation of the timing of events of petroleum systems.

### **Keywords:**

Western Iberian Margin (MOI) ; International Ocean Drilling Program (IODP) ;  
Black shales ; Breakup Sequence ; Thermal modeling

---

# Agradecimentos

O meu primeiro agradecimento vai para o Professor Nuno Pimentel que acreditou em mim e me deu apoio e motivação desde o início, ajudando-me e guiando-me ao longo deste trabalho. Esteve sempre disponível para me ajudar fosse pessoalmente ou por email e foi através dele que ganhei um grande interesse pela temática da Geologia do Petróleo devido ao modo como consegue ensinar e cativar os alunos em simultâneo. É uma pessoa que levo no meu coração para a vida e sem ele esta dissertação não existiria. Muito obrigado por tudo.

O meu segundo agradecimento, embora com a mesma importância do primeiro, vai naturalmente para a Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis por ter proposto e financiado o meu projecto de estágio que deu origem a esta dissertação e por me ter facultado as condições logísticas necessárias para o desenvolvimento do meu trabalho. Quero ainda agradecer individualmente quer ao José Miguel Martins quer ao Bruno Duarte pois deixaram-me à vontade e fizeram-me sentir em casa desde o início, tiveram várias discussões construtivas sobre a interpretação sísmo-estratigráfica e forneceram-me alguma formação sobre o *software* utilizado.

Quero ainda agradecer a outros colegas da ENMC que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização desta dissertação. Agradeço então à Leonor Pereira, ao João Pereira, ao Pedro Pires, à Rita Silva, Paulo Carmona e José Reis.

Ao Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa por me possibilitarem a realização da dissertação de Mestrado.

Ao João Casação pela disponibilidade demonstrada para debater assuntos relacionados com este trabalho, nomeadamente a ajuda prestada na escolha de parâmetros a utilizar na modelação.

Aos meus colegas geólogos que levo para a vida e que me acompanharam na pós-graduação e incentivaram na realização desta dissertação, são eles o Bruno Carvalho, o André Vinhas e a Marisa Barreto.

À minha família que sempre me apoiou e em especial aos meus pais que sempre foram exigentes mas que sempre me deram a melhor educação possível dedicando muito tempo, amor e dinheiro para que tudo fosse possível.

À Patrícia por todo o apoio que me deu e por todas as horas em que esteve “sozinha” ao meu lado enquanto eu escrevia esta dissertação, fornecendo-me todo o carinho, calma e tranquilidade que eu precisava nesses momentos. Muito daquilo que faço é para que tenhamos um futuro melhor e esta dissertação não é excepção, muito obrigado por tudo.

---

# Índice

<b>Resumo</b> .....	<b>3</b>
Abstract .....	5
Agradecimentos .....	7
Índice .....	8
Índice de Figuras .....	10
Índice de Tabelas .....	15
Índice de abreviaturas, siglas e símbolos .....	17
<b>Introdução</b> .....	<b>18</b>
A. Âmbito .....	19
B. Objectivos .....	20
<b>Enquadramento</b> .....	<b>21</b>
A. Enquadramento geográfico .....	22
B. Enquadramento geológico .....	23
C. Contexto geodinâmico .....	26
D. <i>Breakup Sequence</i> .....	32
E. Trabalhos anteriores .....	35
<b>Dados e Metodologia</b> .....	<b>37</b>
A. Poços Exploratórios e Poços de Pesquisa .....	38
i. Sondagens no <i>shallow-offshore</i> .....	39
ii. Sondagens no <i>deep-offshore</i> .....	41
B. Linhas sísmicas 2D .....	60
C. Interpretação sísmica .....	61

---

D. Modelação de espessuras .....	66
E. Geoquímica orgânica .....	67
F. Modelação térmica .....	73
i. Dados sismo-estratigráficos .....	73
ii. Dados de geoquímica orgânica .....	75
iii. Condições fronteira .....	76
a. Paleobatimetria .....	76
b. Temperatura da interface água-sedimento .....	78
c. Fluxo de calor .....	78
<b>Resultados .....</b>	<b>81</b>
A. Interpretação sismo-estratigráfica .....	82
B. Modelação 3D .....	91
C. Mapas de isócronas .....	92
D. Modelação térmica .....	95
<b>Contextualização e discussão dos resultados .....</b>	<b>104</b>
A. Tectono-estratigrafia do sector NW da MOI .....	105
B. Sismo-estratigrafia da <i>Breakup Sequence</i> .....	108
C. Potencial gerador das “ <i>black shales</i> ” .....	111
D. Análise e modelação de áreas depocêntricas .....	112
<b>Conclusão e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>114</b>
A. Conclusões .....	115
B. Trabalhos Futuros .....	117
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>119</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>126</b>

---

# Índice de Figuras

Figura 1: Enquadramento geográfico da área de estudo .....	22
Figura 2: a )Localização da área de estudo e de algumas bacias com interesse para este trabalho; b) Mapa da MOI mostrando a localização da área de estudo e da Bacia de Peniche relativamente às principais falhas de transferência e Bacias adjacentes; c) Mapa magnetométrico regional de campo total reduzido ao pólo; d) Mapa gravimétrico de anomalia de Ar Livre.....	24
Figura 3: a) Segmentação da área de estudo com as linhas a tracejado a indicar os limites entre a MPI, MPE e MD, estando ainda representadas as sondagens <i>shallow</i> e <i>deep offshore</i> e a malha sísmica; b) Mapa interpretativo simplificado das linhas sísmicas PD00-903 e PDT00-103 demonstrativo da divisão das zonas definidas por Manatschal & Bernoulli (1998), Alves et al., (2006) & Soares et al., (2012) .....	26
Figura 4: Evolução estrutural pós-Eocénica da MOI durante a inversão no Cenozoico .....	31
Figura 5: Tabela litostratigráfica comparativa da Bacia do Porto com os <i>sites DSDP 398</i> e <i>ODP 641</i> , assinalando os principais eventos ocorridos no NW Ibérico .....	33
Figura 6: Perfil E-W das linhas TGS-NOPEC PD00-903 e 103, observando-se a arquitectura da margem, a estruturação do soco e as sequências sin-rifte, de <i>breakup</i> e pós-rifte .....	33
Figura 7: Mapa da área de estudo no qual se observam as sondagens <i>IODP</i> , as sondagens <i>offshore</i> das Bacias do Porto e Peniche, a sísmica 2D utilizada, a concessão Camarão e a batimetria da região .....	38
Figura 8: Perfil interpretativo das secções N-S e E-W da Bacia do Porto .....	40
Figura 9: Quadro ilustrativo das formações litostratigráficas identificadas nos relatórios de poço Lu-1, To-1, Li-1, Cv-4 e 5A-1 .....	40
Figura 10: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site DSDP 47-398</i> .....	43
Figura 11: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site ODP 149-897</i> .....	45
Figura 12: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site ODP 149-898</i> .....	46
Figura 13: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site ODP 149-899</i> .....	48
Figura 14: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site ODP 149-900</i> .....	50

Figura 15: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site</i> ODP 173-1065 .....	51
Figura 16: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site</i> ODP 173-1067 .....	52
Figura 17: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site</i> ODP 173-1068 .....	54
Figura 18: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site</i> ODP 173-1069 .....	56
Figura 19: Coluna lito e cronostratigráfica do <i>site</i> ODP 173-1070 .....	58
Figura 20: Correlação cronostratigráfica entre todas as sondagens IODP .....	59
Figura 21: Localização das sondagens e linhas sísmicas analisadas neste estudo. Estão representadas as sondagens realizadas no <i>shallow-offshore</i> da Bacia do Porto, as sondagens IODP no <i>deep offshore</i> , estando ainda destacadas as principais linhas sísmicas .....	61
Figura 22: Esquema dos padrões de terminação de reflexões nos limites superior e inferior de uma sequência deposicional .....	61
Figura 23: Esquema de padrões de configurações de fácies sísmicas .....	61
Figura 24: Coluna sismo-estratigráfica dos horizontes sísmicos, das unidades cronostratigráficas e dos eventos de interesse na zona de estudo .....	63
Figura 25: Posições estratigráficas dos <i>cores</i> recolhidos dos furos 398A, B e D .....	69
Figura 26: Gráfico velocidade/tempo demonstrativo dos valores médios de velocidade de horizontes sísmicos observados no perfil sísmico GP-19 .....	74
Figura 27: Curvas de subsidência teóricas para o <i>basement</i> no <i>site</i> 398 com correcções de carga sedimentar assumindo <i>rifting</i> inicial no Hauteriviano .....	77
Figura 28: Variação de temperatura da interface água-sedimento (SWIT) baseada na paleobatimetria da sondagem 47-398 .....	78
Figura 29: Diferentes factores de estiramento da área de estudo .....	79
Figura 30: Localização das sondagens e linhas sísmicas analisadas neste estudo. Estão representadas as sondagens realizadas no <i>shallow offshore</i> da Bacia do Porto, as sondagens IODP no <i>deep offshore</i> , estando ainda destacadas as principais linhas sísmicas .....	82
Figura 31: Interpretação sismo-estratigráfica da linha sísmica 1 .....	83

Figura 32: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 2 .....	84
Figura 33: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 3 .....	85
Figura 34: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 6 .....	86
Figura 35: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 8 .....	87
Figura 36: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 9 .....	88
Figura 37: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 10 .....	89
Figura 38: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 12 .....	90
Figura 39: Modelações 3D do <i>basement</i> acústico, evaporitos, horizontes 5,4,3,2 e do fundo marinho .....	91
Figura 40: Mapa de isócronas correspondente à espessura aproximada das “ <i>black shales</i> ” do Albiano .....	92
Figura 41: Mapa de isócronas correspondente à versão pessimista de <i>overburden</i> a que as “ <i>black shales</i> ” do Albiano são sujeitas .....	93
Figura 42: Mapa de isócronas correspondente à versão optimista de <i>overburden</i> a que as “ <i>black shales</i> ” do Albiano são sujeitas .....	94
Figura 43: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na sondagem <i>DSDP</i> 47-398 .....	96
Figura 44: Modelação dos valores de Reflectância da Vitrinite das unidades observadas na sondagem <i>DSDP</i> 47-398 .....	96
Figura 45: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na sondagem <i>DSDP</i> 47-398 .....	96
Figura 46: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem A .....	97
Figura 47: Modelação dos valores de Reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem A .....	97
Figura 48: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem A .....	97



---

Figura 49: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem B .....	98
Figura 50: Modelação dos valores de Reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem B .....	98
Figura 51: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem B .....	98
Figura 52: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem C .....	99
Figura 53: Modelação dos valores de Reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem C .....	99
Figura 54: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem C .....	99
Figura 55: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem D .....	100
Figura 56: Modelação dos valores de Reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem D .....	100
Figura 57: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem D .....	100
Figura 58: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem E .....	101
Figura 59: Modelação dos valores de Reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem E .....	101
Figura 60: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem E .....	101
Figura 61: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem F .....	102
Figura 62: Modelação dos valores de Reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem F .....	102

---

Figura 63: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem F .....	102
Figura 64: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem G .....	103
Figura 65: Modelação dos valores de Reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem G .....	103
Figura 66: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem G .....	103
Figura 67: Comparação entre a cobertura terciária normal e em altos estruturais (Porto <i>Seamount</i> ) na linha sísmica 3 .....	106
Figura 68: Espaços de acomodação gerados por actividade tectónica compressiva associada às orogenias Pirenaica e Bética (Linha sísmica 1) .....	107
Figura 69: Correlações estratigráficas entre sondagens perfuradas através da <i>LBS</i> em diferentes zonas da margem .....	110
Figura A 1: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 4 .....	127
Figura A 2: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 5 .....	128
Figura A 3: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 7 .....	129
Figura A 4: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 11 .....	130

---

# Índice de Tabelas

Tabela 1 - Quadro comparativo dos principais eventos geodinâmicos cenozoicos na MOI .....	29
Tabela 2 – Quadro dos principais eventos geodinâmicos mesozoicos da MOI, da Bacia do Porto e da Bacia Lusitânica .....	30
Tabela 3 - Quadro sumário das sondagens analisadas neste trabalho .....	39
Tabela 4 – Modelo de velocidades da sondagem <i>DSDP</i> 47-398 e calibração das sondagens <i>IODP</i> com o fundo marinho .....	59
Tabela 5 – Quadro correspondente às linhas sísmicas analisadas na área de estudo .....	60
Tabela 6 – Tabela dos horizontes sísmicos interpretados, unidades sismo e cronostratigráficas que estes definem e carácter sísmico das suas terminações .....	64
Tabela 7 – Tabela das unidades sismo-estratigráficas identificadas, das formações equivalentes, da litologia provável e do carácter das suas reflexões internas .....	64
Tabela 8 – Propriedades relativas à geoquímica orgânica das “ <i>black shales</i> ” do Albiano .....	72
Tabela 9 – Quadro com os <i>inputs</i> estratigráficos do poço 47-398 .....	74
Tabela 10 – Tabela de velocidades final adaptada para os horizontes sísmicos interpretados neste trabalho .....	74
Tabela 11 – Relação entre os valores de <i>TOC</i> e <i>HI</i> relativamente ao potencial gerador de hidrocarbonetos e aos principais compostos gerados no pico de maturação .....	75
Tabela 12 – Quadro com os <i>inputs</i> geoquímicos do poço 47-398 .....	76
Tabela 13 – Paleobatimetria de todos os poços e pseudo-poços modelados .....	77
Tabela 14 – Parâmetros crustais e mantélicos .....	79
Tabela 15 – Fluxos de calor de todas as sondagens sujeitas a modelação .....	80
Tabela 16 – Carácter sísmico e litológico da <i>BS</i> .....	109
Tabela A 1 – <i>Input</i> digital das sondagens <i>ODP</i> e <i>DSDP</i> da área de estudo no <i>software</i> Landmark Decision Space .....	126

---

Tabela A 2 – Modelos de velocidade de todas as sondagens <i>ODP</i> e <i>DSDP</i> da área de estudo ..	126
Tabela A 3 – <i>Inputs</i> estratigráficos da <i>PW A</i> .....	131
Tabela A 4 – <i>Inputs</i> estratigráficos da <i>PW B</i> .....	131
Tabela A 5 – <i>Inputs</i> estratigráficos da <i>PW C</i> .....	131
Tabela A 6 – <i>Inputs</i> estratigráficos da <i>PW D</i> .....	132
Tabela A 7 – <i>Inputs</i> estratigráficos da <i>PW E</i> .....	132
Tabela A 8 – <i>Inputs</i> estratigráficos da <i>PW F</i> .....	132
Tabela A 9 – <i>Inputs</i> estratigráficos da <i>PW G</i> .....	133

---

## Índice de abreviaturas, siglas e símbolos

$\beta$  – Factor de estiramento crustal

*Breakup* – Ruptura continental

Cv-4 – Cavala-4

CCD – Profundidade de compensação da calcite

ENMC – Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis

*Drift* – Deriva continental

*DSDP* – Deep Sea Drilling Program

*HI* – Índice de Hidrogénio

*Hinterland* – Zona terrestre interior

*Input* – Fornecimento sedimentar

*IODP* – International Ocean Drilling Program

ISE – Iberian Seismic Experiment

*LBS* – Lithospheric Breakup Surface

*Leg* – Expedição

Li-1 – Lima-1

*Locus* – Localização

*LOG* – Coluna litológica

Lu-1 – Lula-1

*LRS* – Lithospheric Rifting Stage

MOI – Margem Ocidental Ibérica

MD – Margem Distal

MPE – Margem Proximal Externa

MPI – Margem Proximal Interna

*ODP* – Ocean Drilling Program

*Offshore* – Mar aberto

*OI* – Índice de Oxigénio

*Onshore* – Terra

*Overburden* – Soterramento

*Pseudo-Wells* – Pseudo-poços

Ro% – Reflectância da Vitritine

*SAG (basin)* – Bacias geradas num período de quiescência térmica

*Slope Faults* – Falhas de vertente

*Slumps* – Depósitos de deslizamento de vertente

*SWIT* – Temperatura da interface água-sedimento

To-1Z – Touro-1

*TOC* – Carbono Orgânico Total

*TR* – Taxa de transformação

*TWT* – Tempo duplo

UPEP – Unidade de Pesquisa e Exploração de Recursos Petrolíferos

*Uplift* – Soerguimento

5A-1 – Linguado

---

# CAPÍTULO I

---

## INTRODUÇÃO

---

## A. Âmbito

A temática desta dissertação está directamente relacionada com o trabalho desenvolvido no programa de estágio realizado na Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis, tendo este ocorrido entre Fevereiro e Maio de 2016. Este trabalho só foi possível devido à parceria estabelecida entre o Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e a Entidade Nacional para o Mercado de Combustíveis, possibilitando o desenvolvimento de alguns aspectos académicos da Geologia de Petróleo relacionados com a exploração de hidrocarbonetos num meio empresarial.

Todo o conhecimento até aqui adquirido, quer na licenciatura em Geologia, quer na Pós-Graduação em Geociências do Petróleo foram cruciais para o desenvolvimento desta dissertação cujo tema, proposto pela ENMC, foi a realização de um estudo relativo ao potencial gerador das “*black shales*” do Cretácico presentes no *deep offshore* das Bacias do Porto e de Peniche.

Esta dissertação só foi possível devido ao interesse da ENMC em estabelecer uma parceria com a academia, fornecendo todas as condições necessários para o desenvolvimento deste trabalho no já referido estágio, trabalho esse do qual resulta esta dissertação de Mestrado.

Durante o estágio, o trabalho foi desenvolvido numa *workstation* onde foi utilizado o *software Landmark Decision Space* que permitiu o estudo e a interpretação quer das sondagens realizadas, quer a sísmica regional.

---

## B. Objectivos

O objectivo principal deste trabalho é a análise, interpretação e integração de dados públicos de campanhas *ODP* e *DSDP* ao largo das Bacias do Porto e de Peniche. Foram ainda consultados dados exploratórios da plataforma portuguesa, nomeadamente de poços no *shallow offshore* e linhas sísmicas regionais posteriormente interpretadas. O estudo destes dados possibilitou então realização de um estudo relativo ao potencial gerador das “*black shales*” do Cretácico presentes no *deep offshore* das Bacias do Porto e de Peniche. Foi ainda determinada a evolução térmica e a maturação em determinados locais destas bacias através de exercícios de modelação térmica.

Espera-se que o resultado final deste trabalho possa contribuir para o conhecimento do potencial gerador desta unidade, permitindo também compreender a evolução geológica e estrutural desta zona mais profunda e a definição das áreas e sectores mais promissores.

Para a realização desta dissertação foram tidos em conta alguns trabalhos relacionados com a evolução da Margem Ocidental Ibérica e com os estudos dos furos *IODP*. Os principais trabalhos consultados foram os seguintes: Alves *et al.*, 2003a; Alves *et al.*, 2006; Sibuet *et al.*, 1979; Casacão, 2015; Sawyer *et al.*, 1994; Soares, 2014; Whitmarsh *et al.*, 1998.

Depois de consultados os relatórios, quer das sondagens *shallow offshore* quer das *deep offshore (IODP)* foi realizada uma interpretação sismo-estratigráfica de diferentes horizontes que permitiram a criação de mapas de isócronas relativas às unidades que possam conter as “*black shales*” do Cretácico. A análise destes mapas de isócronas permitiu localizar áreas depocêntricas sujeitas a *overburdens* significativos. Nessas áreas depocêntricas foram depois escolhidos os locais mais propícios à realização de pseudo-sondagens para posterior modelação térmica de modo a descobrir se estas áreas maturaram o suficiente para a geração de óleo e/ou gás.

Estes horizontes marcam diferentes fases de preenchimento sedimentar das bacias e estão relacionados com diferentes eventos tectónicos ocorridos na Zona Noroeste Ibérica. Estes eventos marcaram a evolução das bacias e estão marcados quer no registo sedimentar das sondagens, quer nas linhas sísmicas.

Para a realização de exercícios de maturação térmica que possibilitem a avaliação do potencial de maturação das “*black shales*” foram utilizados dados de geoquímica, pirólise *rock-eval* e paleobatimetria da sondagem *DSDP* 47-398 onde foram observadas as mesmas. Foram ainda consultados outros artigos para a definição dos fluxos de calor em cada um dos poços modelados. Através destes dados foram então modelados 7 pseudo-poços e o poço *DSDP* 47-398, escolhidos com base no *overburden* observado através da sísmica.



---

# CAPÍTULO II

---

## ENQUADRAMENTO

## A. Enquadramento geográfico

A área estudada propriamente dita está delimitada pelo polígono laranja na figura 1. No entanto, de modo a facilitar a georreferenciação da mesma, foi criado um rectângulo cujos lados intersectam os extremos do polígono, estando estes indicados na imagem por um triângulo laranja.

Assim sendo, o extremo Norte da zona de estudo situa-se a cerca de 77 km da fronteira continental entre Portugal e Espanha, a NE do Monte Submarino de Vigo, enquanto o extremo Sul se situa no Canhão Submarino de São Pedro. A zona mais proximal a área de estudo dista cerca de 25 km de Viana do Castelo e situa-se na sondagem Cavala-4, enquanto na zona mais distal se situa no *ODP* 173-1070. A Oeste da zona de estudo encontra-se a Planície Abissal Ibérica, a Sul o Canhão Submarino da Nazaré, a Este a região continental entre Caminha e Figueira da Foz e a Norte os Bancos da Galiza. A profundidade da coluna de água nesta zona varia entre os 110 metros na zona mais proximal e os 5400 metros na zona mais distal.

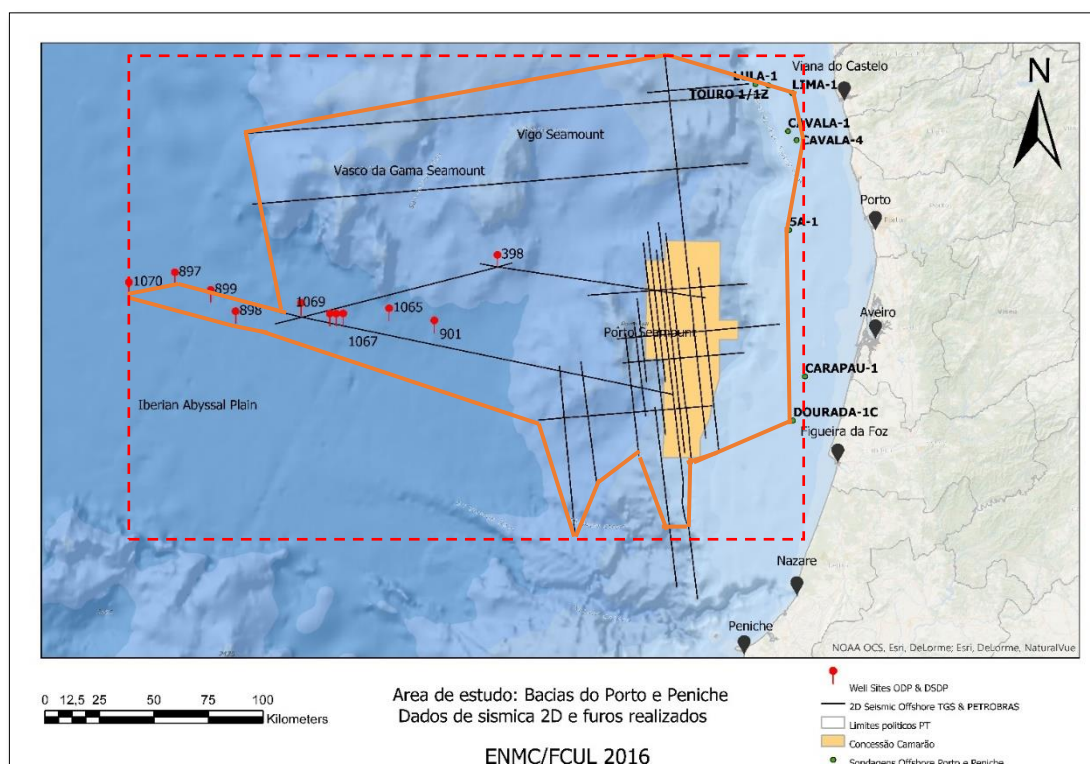


Figura 1: Enquadramento geográfico da área de estudo com o polígono laranja a representar especificamente a área de estudo e o rectângulo vermelho a representar a área de estudo geral.

---

## B. Enquadramento geológico

A área de estudo situa-se na Margem Oeste Ibérica e compreende quer a Bacia do Porto, quer o sector Norte da Bacia de Peniche.

A Bacia do Porto é uma bacia sedimentar *offshore* que se desenvolveu na Margem Ocidental Ibérica (MOI) durante o Meso-Cenozóico. À semelhança das restantes bacias peri-Atlânticas (ex: Bacia Lusitânica, Bacia de Jeanne d’Arc, Bacia de Flemish Pass), foi gerada por distensão por estiramento crustal associada à fragmentação da Pangeia, no contexto extensional de abertura do Atlântico Norte (Kullberg, 2000).

A sequência sedimentar da Bacia do Porto desenvolveu-se numa série de bacias tipo-rifte de idade meso-cenozóica, estando geralmente representadas todas as séries estratigráficas mesozoicas desde o Triásico Superior. A bacia é alongada cerca de 100 km segundo a direcção NNW-SSE e tem cerca de 30 km de largura. É bordejada a Este pela falha Porto-Tomar, uma importante estrutura geológica de sutura, sub-vertical e não estirada que divide as zonas Centro-Ibérica e Ossa-Morena. A Oeste a bacia termina contra as falhas NNW-SSE constituintes da quebra da plataforma continental. A Norte a bacia estará menos representada, ligando-se à Bacia Interior da Galiza. A Sul esta termina progressivamente para uma elevação do soco, e finalmente, contra a falha de transferência de Aveiro, de orientação ENE-WSW. As duas orientações estruturais anteriormente referidas são idênticas às de direcção geral de estruturas tardi-hercínicas, o que sugere que o soco Hercínico terá influenciado o *fabric* estrutural da plataforma continental e ainda a topografia e estrutura das regiões mais profundas da margem (Alves *et al.*, 2003).

A Bacia de Peniche, à semelhança da Bacia do Porto, é uma bacia sedimentar que se desenvolveu no sector externo da MOI extensional, ocupando o *offshore* profundo. O seu preenchimento sedimentar é apenas conhecido através de estudos sísmicos, estimando-se que a sua espessura possa atingir os 8 km. A análise de linhas sísmicas evidencia a presença de descontinuidades passíveis de correlação com os eventos reconhecidos na MOI e também na Bacia Lusitânica.

A Bacia de Peniche é composta por diferentes sectores que se dividem através de importantes lineamentos tectónicos, mais especificamente zonas de incisão de importantes canhões submarinos (Alves *et al.*, 2006).

O sector Norte (sector 1) da bacia é delimitado a Sul pelo prolongamento *offshore* da falha de transferência de Aveiro e a Norte pela Bacia Interior de Galiza definida por Murillas *et al.*, 1990. O sector intermédio (sector 2) da bacia é delimitado a Sul pela falha da Nazaré, que separa também os sectores Norte e Centro da Bacia Lusitânica *onshore* (Alves *et al.*, 2002. 2003b). Na margem,

o lineamento da Nazaré divide o sector intermédio do sector Sul (sector 3) que se trata de uma área muito deformada e com poucos dados de sondagens (Alves *et al.*, 2006).

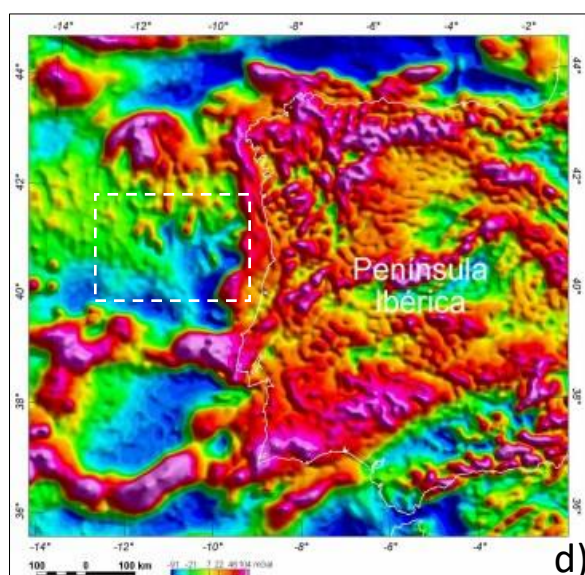
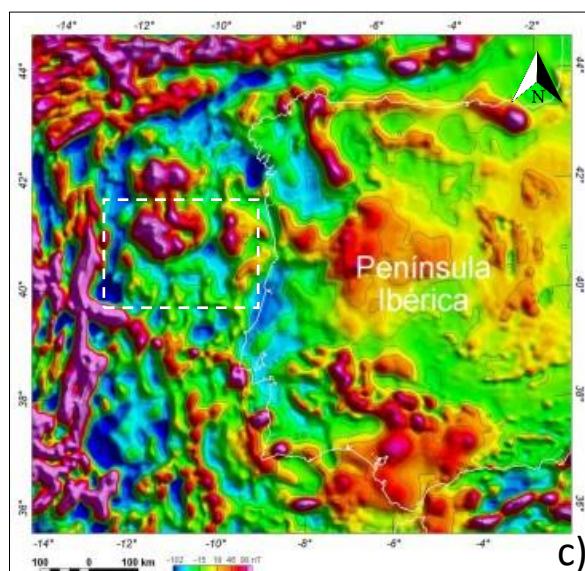
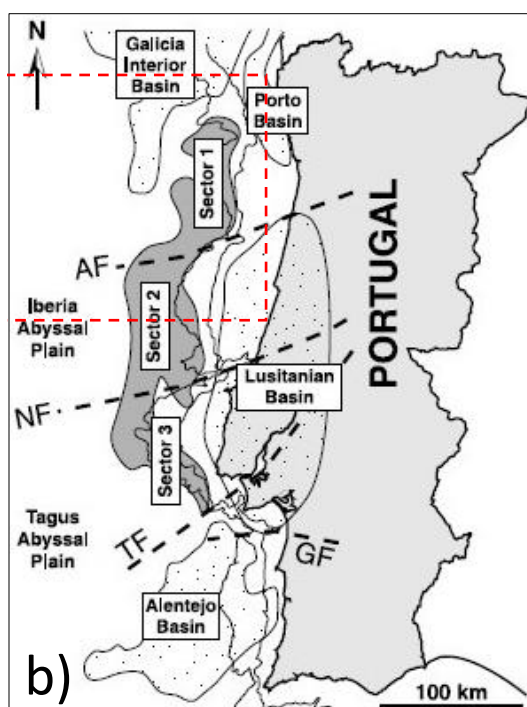


Figura 2:

a) Localização da área de estudo (a vermelho) e de algumas bacias com interesse para este trabalho.

b) Mapa da Margem Ocidental Ibérica (MOI) mostrando a localização da área de estudo (a vermelho) e da Bacia de Peniche relativamente às principais falhas de transferência e Bacias adjacentes (retirado de Alves *et al.*, 2006).

c) Mapa magnetométrico regional de campo total reduzido ao pólo, com celas de 2500 m (retirado de Alves, L., 2012).

d) Mapa gravimétrico de anomalia de Ar Livre, com celas de 4000 m (retirado de Alves, L., 2012).

---

Depois de realizado o programa *Deep Sea Drilling Program*, ao largo da Bacia do Porto, através do estudo da sondagem *DSDP* 47-398, Murillas *et al.*, (1990) integrou todos os dados e formalizou um primeiro mapa com as bacias que integram a MOI, colocando a Bacia do Porto na plataforma continental e a Bacia Interior da Galiza na margem proximal externa, desde o limite do Banco da Galiza até à falha de Aveiro.

Moita *et al.*, (1996), no projecto MILUPOBAS, definiu a Bacia do Porto como o sulco NNW-SSE localizado na Margem Proximal Interna (MPI). Mais recentemente, Alves *et al.*, (2006) definiu a Margem Proximal Externa (MPE) considerada neste estudo como fazendo parte do sector 1 da Bacia de Peniche, correspondente ao sopé de talude continental e planície abissal (Figura 1b).

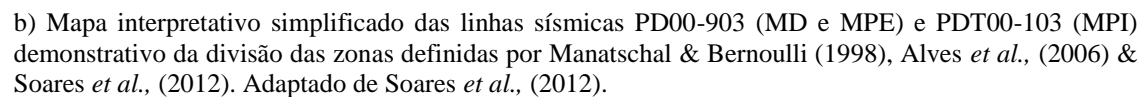
Este trabalho segue a divisão das zonas definidas por Manatschal & Bernoulli (1998), Alves *et al.*, (2006) e Soares *et al.*, (2012). Estes autores dividem as margens continentais rifteadas da área de estudo em; a) Margem Proximal Interior (MPI), que contém as bacias *offshore* proximais, na plataforma continental; b) Margem Proximal Exterior (MPE), que contém a maioria das zonas onde ocorre estiramento crustal continental, após a quebra da plataforma continental, sendo limitada pelos de soco estruturais na planície abissal Ibérica; c) Margem Distal (MD), que contém zonas de manto superior exumado cobertas por zonas extensas de blocos crustais continentais, iniciando-se entre os montes submarinos do Porto e Vigo, contendo ainda a zona transicional oceano-continente.

Neste trabalho considerou-se que a Bacia do Porto se insere na Margem Proximal Interna (MPI) enquanto a Bacia de Peniche ocupa a Margem Proximal Externa (MPE) e parte da Margem Distal (MD).

Enquanto na MPI e na MPE não há grande discussão relativamente à sua ligação com as Bacias do Porto e Peniche, respectivamente, já no caso da MD existe alguma discussão visto que Murillas *et al.*, (1990) a associa quase na totalidade à Bacia Interior da Galiza enquanto Alves *et al.*, (2006) associa esta à Bacia Interior da Galiza apenas a Norte do *site* 398, deixando a zona Sul associada à Planície Abissal Ibérica. Assim sendo, neste trabalho considerou-se que a Bacia de Peniche se prolonga para a região entre a falha de Aveiro e o *site* 398 na Margem Distal. Esta associação deveu-se à necessidade de associar a MD a uma bacia visto que um dos objectivos deste estudo passa pela modelação de depocentros das Bacias do Porto e Peniche e julgou-se mais lógico associar a MD à Bacia de Peniche que à Bacia Interior da Galiza.



a) Segmentação da área de estudo com as linhas a tracejado a indicar os limites entre as Margens Proximal Interna (MPI), Proximal Externa (MPE) e Distal (MD). Estão ainda representadas as sondagens *shallow* e *deep offshore* e a malha sísmica.



### C. Contexto geodinâmico

A arquitectura da MOI está intimamente relacionada com as direcções estruturais dominantes no final da Orogenia Hercínica, sendo a sua evolução controlada pelo campo de tensões anterior e posterior à abertura das bacias do Porto e de Peniche pelo que, tal como na Bacia Lusitânica, a rede de fracturação foi responsável pela compartimentação da MOI.

Segundo Ribeiro *et al.*, (1979), as falhas tardi-Hercínicas formaram-se em dois episódios compressivos que terão ocorrido no final da Orogenia Hercínica, ante triásica. O episódio de compressão N-S (300 a 280 Ma) terá gerado falhas de desligamento esquerdo NNE-SSW a ENE-WSE e falhas conjugadas de desligamento direito NNW-SSE a NW-SE. O segundo episódio há cerca de 280 Ma teve muito provavelmente uma direcção de compressão principal perpendicular à do primeiro episódio, tendo sido responsável pela criação de uma zona de cisalhamento nos granitos das Berlengas (estrutura em *horst* que se prolonga para Norte) tendo reactivado a falha Porto-Tomar como inversa. É então possível verificar que os alinhamentos preferenciais da área de estudo estão relacionados com as direcções das falhas compressivas tardi-Hercínicas e, como tal, é possível afirmar que a morfologia desta margem parece ser controlada pelos padrões de fracturação tardi-Hercínicos (Capdevilla and Mougenout, 1988; Wilson *et al.*, 1989).

Durante a evolução Mesozóica da MOI até á rotura continental no Albiano-Aptiano, com formação de crosta oceânica na Planície Abissal Ibérica, consideram-se vários episódios de *rifting*

---

cujo número de episódios, *timings* de ocorrência e duração dos mesmos é uma questão nada consensual, tendo sido já abordada por diversos autores como Montenat *et al.*, 1988; Wilson *et al.*, 1989; Pinheiro *et al.*, 1996; Stapel *et al.*, 1996; Rasmussen *et al.*, 1998; Kullberg *et al.*, 2006; Alves *et al.*, 2006; Cunha, 2008; Pereira & Alves, 2011.

Neste trabalho considereei quatro episódios principais de *rifting* ocorridos na Margem Oeste Ibérica (MOI): O primeiro no Triásico tardio - Hetangiano, o segundo no Sinemuriano - Pliensbachiano inicial, o terceiro no Oxfordiano tardio - Kimmeridgiano e o quarto no Berriasiano - Aptiano tardio (Alves *et al.*, 2009; Leinfelder & Wilson, 1998; Rasmussen *et al.*, 1998; Stapel *et al.*, 1996; Wilson *et al.*, 1989).

Os dois primeiros episódios extensionais foram responsáveis pela iniciação da “*stretching phase*” de Lavie and Manatschal (2006), seguindo-se a extensão do Jurássico tardio-Cretácico inicial que levaram ao *breakup* litosférico total entre a Ibéria e Newfoundland (Boillot & Malod, 1988; Bronner *et al.*, 2011; Sibuet *et al.*, 2007; Srivastava *et al.*, 2000; Tucholke *et al.*, 1989; Whitmarsh & Miles, 1995; Wilson, 1988).

Enquanto decorria o *rifting*, os depocentros das bacias foram migrando para Oeste e essa migração foi realizada em duas fases distintas: uma primeira etapa, *LRS1 (Lithospheric Rifting Stage 1)*, de múltiplos episódios de estiramento e ruptura da crosta continental até ao Barremiano Superior (Murillas *et al.*, 1990). Esta etapa terminou com um *breakup* diacrónico da crosta continental, começando na zona Sul da Península Ibérica e migrando para Norte. Esta ruptura foi seguida de uma segunda etapa, *LRS2 (Lithospheric Rifting Stage 2)*, de rifteamento, ocorrendo exumação e estiramento do manto litosférico subcontinental serpentizado, acompanhados de descargas localizadas de *melts* de descompressão, desde o Berriasiano tardio até ao Albiano (Boillot *et al.*, 1980, Boillot *et al.*, 1988; Sawyer *et al.*, 1994; Boillot *et al.*, 1995; Whitmarsh *et al.*, 1988). Esta última etapa subdivide-se em dois períodos transicionais de extensão, o primeiro no limite Valanginiano - Hauteriviano e o segundo do Barremiano ao limite Aptiano-Albiano, ambos definidos por Tucholke & Sibuet (2007), ocorrendo a Sul e a Norte da Falha de Aveiro, respectivamente.

O último episódio extensional ocorreu em associação com a migração para Norte do eixo de rifte em direcção à Planície Abissal Ibérica e foi seguido de uma separação completa entre a Iberia e Newfoundland (Boillot & Malod, 1988; Wilson, 1988; Tucholke *et al.*, 1989; Whitmarsh & Miles, 1995; Srivastava *et al.*, 2000; Sibuet *et al.*, 2007b). Ao mesmo tempo que a migração ocorria, era gerado um sulco de rifte na actual área de talude continental, evidenciando a importância tectónica da falha da Nazaré que separa a Planície Abissal de Tagus da região norte onde ocorreu *rifting* continental contínuo até ao Aptiano tardio/Albiano inicial. Até ao final do Aptiano ocorreu uma propagação contínua para Norte da expansão do fundo oceânico através da

---

falha da Nazaré na Margem Noroeste Ibérica e, como resultado deste salto, gerou-se uma discordância de *breakup* que se espalhou em diferentes segmentos do Atlântico Norte, onde o *breakup* ocorreu, enquanto superfícies estratigráficas síncronas de origens distintas se formavam em bacias sedimentares em crescimento como era o caso da Bacia Lusitânica (Hiscott *et al.*, 1990).

O *breakup* litosférico final na Margem Noroeste Ibérica ocorreu durante a transição Aptiano-Albiano após a separação completa da litosfera e a instalação da verdadeira crosta oceânica (Boillot *et al.*, 1987b; Sawyer *et al.*, 1994; Whitmarsh *et al.*, 1996a). Este evento ocorreu gradualmente com exumação e extensão da litosfera inferior ao mesmo tempo que a crosta oceânica “normal” estava a ser formada, até que o *breakup* litosférico completo foi atingido e o evento cessou (Russel & Whitmarsh, 2003; Sibuet *et al.*, 2007b; Sibuet & Tucholke, 2012). Este evento regional corresponde ao final das sequências de sin-rifte, dando início ao estabelecimento de uma margem passiva, pós-rifte (fase de *drift*), que durará até ao final do Cretácico Superior. O alastramento dos fundos oceânicos na área de estudo ocorre no seguimento da abertura sucessiva e diacrónica de Sul para Norte (Rasmussen *et al.*, 1998).

O evento de *breakup* é de extrema importância para este trabalho e irei abordá-lo detalhadamente mais à frente, uma vez que é sobre a base desta discordância (*breakup unconformity*) que se estabelece uma sequência sedimentar denominada como *breakup sequence*, sendo que as “*black shales*” estudadas neste trabalho fazem parte da mesma.

Após o período de pós-rifte no Cretácico Superior, deu-se o primeiro evento compressivo pré-Pirenaico através do choque entre a Ibéria e África, no Miocénico, levando a um ligeiro levantamento tectónico da margem e dando início à fase de inversão tectónica. O primeiro grande episódio de inversão da área de estudo iniciou-se na fase da Orogenia Pirenaica, com o choque entre a Ibéria e a Eurásia, no Eocénico, levando à formação da cadeia montanhosa dos Pirinéus. Aqui, ocorreu levantamento tectónico da MOI, com reactivação de falhas e de montes submarinos presentes na mesma. (Kullberg, 2000).

Na área de estudo destacam-se os montes submarinos de Vigo, Vasco da Gama e do Porto que não são mais que blocos rodados e *half grabens* de idade Mesozóica (Montadert *et al.*, 1974) que, como já referi, foram reactivados e soerguidos durante a Orogenia Alpina (Boillot *et al.*, 1979).



Este episódio teve maior impacto nas sequências cenozóicas presentes na área de estudo, devido à proximidade com o *locus* de actividade tectónica. Após esta fase ocorre a fase tectónica Castelhana, com subsidência contínua da MOI, seguida da fase Neo-Castelhana onde ocorre um levantamento à escala regional da MOI. A última fase de inversão tem o nome de Orogenia Bética e decorre da convergência entre a Ibéria e África, ocorrendo novo levantamento da MOI e promovendo a inversão de falhas e reactivação de diapiros, obliterando pontualmente as estruturas compressivas do episódio Pirenaico, sendo nesta fase que se dá o colapso extensional da margem, correspondendo ao último evento responsável pela arquitectura actual da MOI (Kullberg, 2000).

Tabela 1: Quadro comparativo dos principais eventos geodinâmicos cenozóicos na MOI (retirado de Alves et al., 2003a).

Age	Alentejo Margin	Lisboa Margin-Estremadura	Porto/Beira Litoral margins
Quaternary	Transpressive tectonics in the Gorringe Banks		
Late Pliocene		Subsidence	Extensional collapse of the margin
Early Pliocene			
Upper Miocene	Moderate subsidence IV. Compression Increase in extension	IV. Compression	IV. Uplift of seamounts
Middle Miocene	III. Compression	Generalised subsidence (depositional unconformities due to tectonic + eustatic causes)	III. Compression: diapir growth and thrusting
Early Miocene	Onset of extension	Onset of subsidence (late Chattian-Aquitainian)	Decrease in subsidence. Salt-withdrawal basins on the shelf.
Late Oligocene	II. Compression and folding on the margin		
Early Oligocene			
Upper Eocene			
Middle Eocene	I.		I.
Paleocene			Deep margin subsidence. Condensed turbidites.
Maastrichtian Coniacian	Uplift of seamounts		

Tabela 2: Quadro dos principais eventos geodinâmicos mesozoicos da MOI (Alves *et al.*, 2009), da Bacia do Porto (Casacão, 2015) e da Bacia Lusitânica (Pena dos Reis & Pimentel, 2010).

Período	Época	Idade	Bacia Lusitânica (Pena dos Reis & Pimentel, 2010)	MOI (Alves <i>et al.</i> , 2009)	Bacia do Porto (Casacão, 2015)
Cretácico	Superior	Maastrichtiano	INVERSÃO	PÓS-RIFT 3 Pós-Breakup continental	Episódio pré-Pirenaico  PÓS-RIFT 2 Subsidência térmica Exumação e alastramento do fundo oceânico  Soerguimento da margem proximal
		Campaniano			
		Santoniano	Início da inversão tectónica		
		Coniaciano			
		Turoniano	DRIFT 3 <i>Breakup</i> do segmento Galiza Desenvolvimento de margem passiva		
		Cenomaniano			
	Inferior	Albiano	RIFT 4	RIFT 2B <i>Rifting</i> da crosta continental	
		Aptiano			
		Barremiano			
		Hauteriviense			
		Valanginiano			
Bemiasiano					
Jurássico	Superior	Tithoniano	Climax pós-rifte	PÓS-RIFT 2	RIFT 2A 2º episódio de estiramento Falhamento intenso e diapirismo
		Kimmeridgiano	RIFT 2 Tectónica de sub-bacias		
		Oxfordiano			
	Médio	Calloviano	Soerguimento e inversão	PÓS-RIFT 1 Depósitos continentais Bacias evaporíticas	PÓS-RIFT 1 Subsidência térmica ( <i>SAG</i> ) Rampa e Plataforma carbonatada
		Bathoniano			
		Bajociano			
		Aaleniano			
	Inferior	Toarciano	RIFT 1B Rampa carbonatada Subsidência para Oeste	RIFT 2	RIFT 1B Subsidência pós-rift Bacias evaporíticas
		Pliensbachiano			
		Sinemuriano	SAG 1A Preenchimento e invasão marinha		
		Herrangiano			
Triássico	Superior	Rhaetiano	RIFT 1A Extensão e ruptura da crosta com <i>hemi-grabens</i>	RIFT 1	RIFT 1A 1º episódio de estiramento Depósitos continentais
		Norian			

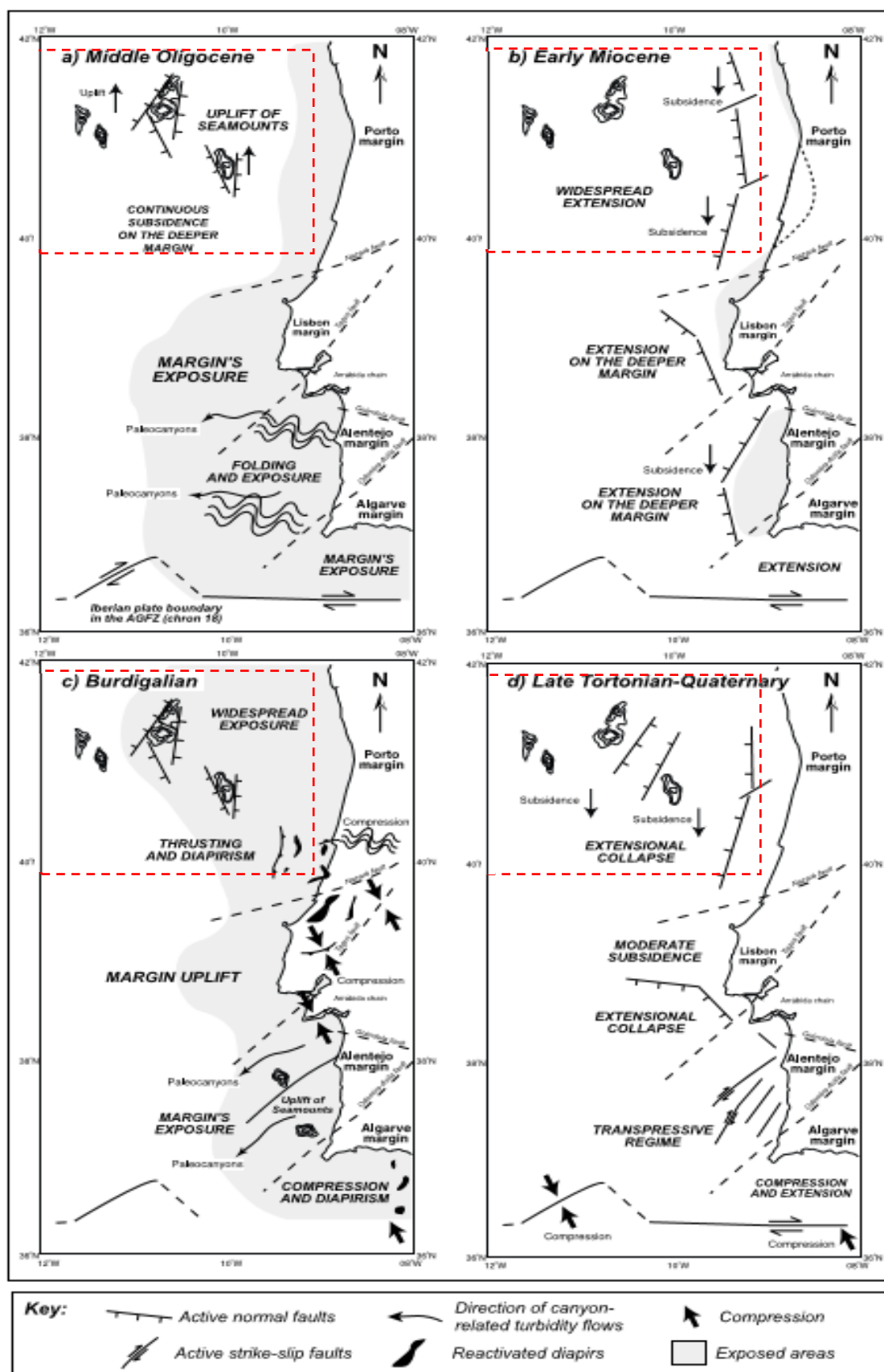


Figura 4: Evolução estrutural pós-Eocénica da MOI durante a fase de inversão no Cenozóico. O rectângulo vermelho delimita a área de estudo do presente trabalho (Retirado de Alves et al., 2003).

---

## D. *Breakup Sequence*

O evento de *breakup* continental marca a separação completa das margens conjugadas do tipo rifte, através do estiramento crustal contínuo, que culmina no rompimento da crosta continental. Este evento está associado ao início da acreção de crosta oceânica na planície abissal actual que divide as duas margens conjugadas passivas. Este episódio é responsável pela criação de uma superfície de descontinuidade, na base da qual se estabelece uma sequência sedimentar denominada como “*breakup sequence*” (Soares, 2014).

A *Breakup Sequence* é limitada por duas importantes inconformidades estratigráficas, são elas a *breakup unconformity* do Aptiano tardio – Albiano que marca a base da *Breakup Sequence* e a inconformidade do Cenomaniano tardio – Turoniano inicial que evidencia um evento regressivo no Atlântico Norte e que marca o topo da *Breakup Sequence*. Estas inconformidades foram repetidamente observadas em poços *onshore*, *shallow-offshore* e *deep-offshore* no Atlântico Norte (Hiscott *et al.*, 1990) como por exemplo os poços *onshore* realizados na Bacia Lusitânica, os poços no *shallow-offshore* da Bacia do Porto e os poços *IODP* realizados no *deep-offshore* como o 398 e o 641. Esta unidade apresenta maiores espessuras nas sub-bacias próximas das *Slope Faults*, onde atinge uma espessura máxima de 1200 m, tornando-se menos espessa à medida que avançamos para a planície abissal e em altos estruturais (Alves *et al.*, 2006).

A *Breakup Sequence* inicia-se com uma fase abrupta de progradação de sedimentos e com um grande acarreio sedimentar na margem continental, estando esta fase relacionada com o levantamento tectónico na MPI. Há depois uma segunda fase de deposição na qual se mantém o carácter imaturo mas onde se começam a depositar sedimentos finos intercalados com carbonatos ocasionais à medida que se avança para o topo da unidade. Estes depósitos são interpretados como tendo sido acumulados durante o Albiano em ambientes costeiros a lagunares e foi durante estas duas fases que se depositaram as “*black shales*” nas regiões mais ocidentais da MPE e na MD. Na última fase de deposição observa-se uma influência marinha cada vez maior à medida que se avança para o topo, como se observa pelo aumento da quantidade de carbonatos e pela diminuição global do tamanho dos grãos nas zonas mais proximais da Bacia do Porto (Soares *et al.*, 2012).

A *Breakup Sequence* termina com uma nova inconformidade, sendo coberta por uma unidade marinha carbonatada pertencente à formação do Cacém e representativa do evento transgressivo global no Cenomaniano (Haq *et al.*, 1987).

Figura 5: Tabela litostratigráfica comparativa da Bacia do Porto com os *sites* DSDP 398 e ODP 641, assinalando os principais eventos ocorridos no NW Ibérico (Alves et al., 2003; Boillot et al., 1987b; GPEP, 1986; Sibuet et al., 1979; Wilson et al., 1989; Witt, 1977). Retirado de Soares et al., 2014.

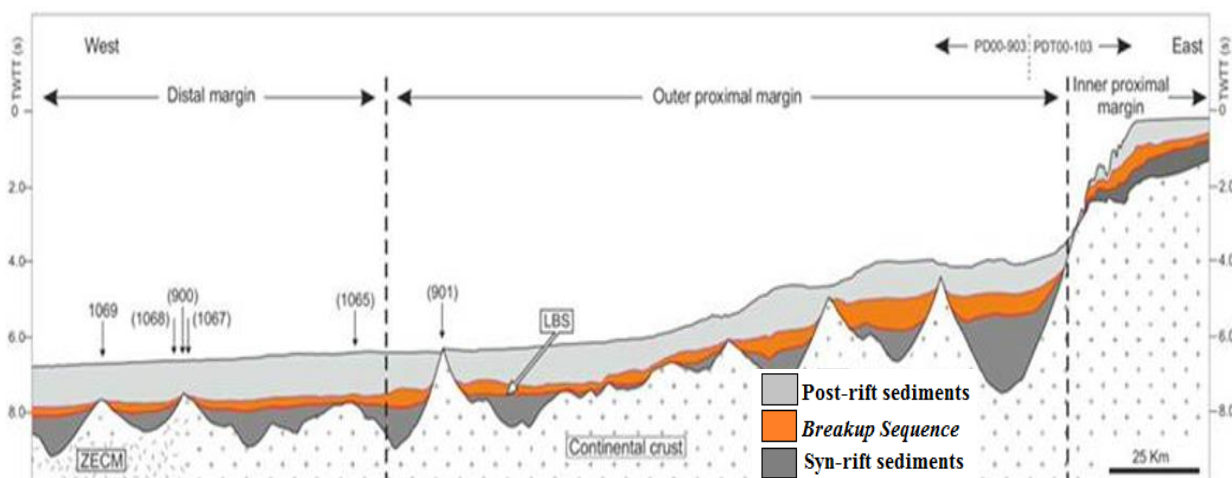
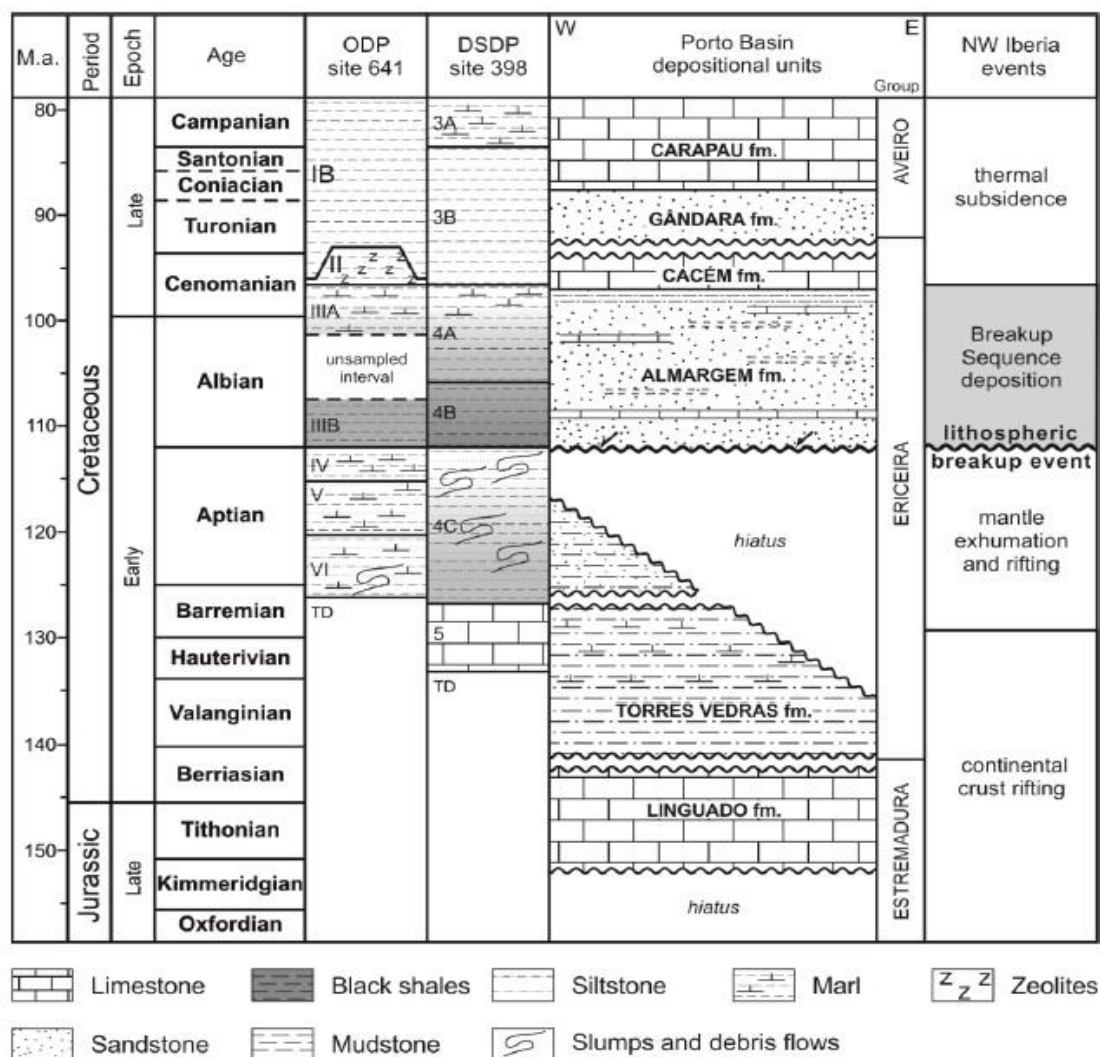


Figura 6: Perfil E-W das linhas TGS-NOPEC PD00-903 e PDT00-103 onde é possível observar a arquitectura da margem, a estruturação do soco e as sequências sin-rifte, de *breakup* e pós-rifte (retirado de Soares, 2012).

---

A *breakup unconformity* é observável na sísmica, quer na MPE e na MD da área de estudo através do “reflector laranja”, quer no “reflector U” do *offshore* de Newfoundland (Sibuet *et al.*, 1979; Tucholke *et al.*, 1989). Estes reflectores foram observados nas sondagens das *legs DSDP* 49 e *ODP* 103 e 210, tendo sido datados como Aptiano Tardio – Albiano Inicial (Boillot *et al.*, 1987b; Sigal, 1979; Tucholke *et al.*, 2004). Apesar da sua semelhança em idade, existem diferenças entre os dois reflectores em ambas as margens. Na MOI, a *breakup unconformity* está presente *onshore* e na margem proximal onde forma uma superfície erosiva sobre os depósitos mais antigos da formação de Torres Vedras e dos estratos do Jurássico Superior, convergindo para terra com inconformidades mais antigas (Rey *et al.*, 2006).

Na MD e na zona mais ocidental da MPE (*DSDP* 398 e *ODP* 641), o “reflector laranja” marca a transição de ambientes submarinos de transporte de massa para ambientes mais calmos, com menor energia deposicional. Estes são materializados por sedimentos hemipelágicos com elevados conteúdos em matéria orgânica (“*black shales*”) e por intervalos de turbiditos finos que ocorrem em direcção ao topo das unidades do Albiano (Gracianky & Chenet, 1979; Shipboard Scientific Party, 2004b).

Os dados sísmicos que têm sido interpretados em diferentes trabalhos mostram uma inconformidade entre o Aptiano tardio e o Albiano que se correlaciona com a *breakup unconformity* da MPE e da MD. Acima desta inconformidade observam-se algumas unidades estratigráficas distintas que vão desde o Albiano ao início do Turoniano e a expressão acústica destas unidades mostra uma progradação significativa para a borda da plataforma. Esta progradação está muito provavelmente relacionada com uma redução no espaço de acomodação devido a uma redução forçada do nível de base ou a um aumento no *input* de sedimentos, embora estas hipóteses não sejam coerentes com a tendência transgressiva proposta pelas curvas eustáticas regionais para o Período Cretácico (Soares *et al.*, 2012).



---

## E. Trabalhos anteriores

A área de estudo do presente trabalho já foi alvo de vários estudos, cada um deles com o seu objectivo específico, e a consulta de alguns destes trabalhos foi muito importante para a realização desta dissertação uma vez que grande parte das conclusões a que cheguei se deveram a estes trabalhos previamente realizados.

A área de estudo foi alvo de estudos recentes mais detalhados por Alves *et al.*, (2006), Cunha (2008), Soares *et al.*, (2012, 2014) e Casação (2015).

Alves *et al.*, (2006) estudou toda a evolução Meso-Cenozóica das bacias do Porto e Peniche através de análises sísmo-estratigráfica. Cunha (2008) focou-se na modelação da subsidência, na caracterização dos principais pulsos extensionais associados ao *rifting* e no estudo do potencial de armazenamento de CO<sub>2</sub>. Os trabalhos de Soares *et al.*, (2012, 2014) focaram-se na caracterização da sequência de *breakup* continental, analisando essencialmente os pacotes correspondentes à última fase de rifte durante o Cretácico Inferior. Casação (2015) estudou a fundo a Bacia do Porto, focando-se na tectono-estratigrafia e na modelação de sistemas petrolíferos presentes na Bacia do Porto.

A tectónica das zonas mais profundas foi consultada em Groupe Galice (1979), Murillas *et al.*, (1990), Péron-pinvidic *et al.*, (2007) e em alguns *IODP reports* de onde se destaca o artigo de Sibuet & Berthois (1979). Groupe Galice (1979) aborda a estratigrafia acústica, a estratigrafia observada em dragagens e a evolução estrutural da margem continental de Portugal e da Galiza, Murillas *et al.*, (1990) estudou a estrutura e a evolução da Bacia interior da Galiza e Péron-pinvidic *et al.*, (2007) estudou a evolução tectono-sedimentar das margens Ibérica profunda e Newfoundland. Já Sibuet & Berthois (1979) realizaram um estudo sobre as tendências estruturais dominantes na MOI e quais as implicações destas sobre o *rifting* inicial.

A litostratigrafia da área de estudo foi consultada, no *deep offshore*, através dos *IODP initial reports* das *legs* 47 (*DSDP*), 149 e 173 (*ODP*), respectivamente realizados por Sibuet & Ryan (1979), Sawyer *et al.*, (1994) e Whitmarsh *et al.*, (1998). Estes *reports* possuem toda a informação de interesse relacionada com os *IODP* e foram cruciais para a realização deste trabalho, tendo ainda sido consultados os *reports* da *leg* 103 realizada na Galiza. No *shallow offshore* a litostratigrafia foi consultada em Moita *et al.*, (1996) e nos Final Well Reports NESTE (1990), SALÉN/PECTEN (1985), TAURUS PETROLEUM AB (1995) e TEXACO (1979).

A interpretação sísmo-estratigráfica baseou-se principalmente na interpretação de Soares *et al.*, (2012) mas também na interpretação de Alves *et al.* (2006), Soares *et al.* (2014) e Casação

---

(2015), todos estes trabalhos já referidos acima. Foi ainda consultada a interpretação sismo-estratigráfica de zonas mais distais em Groupe Galice (1979).

De modo a compreender qual o potencial gerador das “*black shales*” Cretácicas observadas no *site DSDP 398* foram consultados vários trabalhos do Shipboard Scientific Party 47(2) onde se destaca Arthur (1979), Cornford (1979), Deroo *et al.*, (1979), Doerenkamp & Robert (1979), Kendrick *et al.*, (1979) e Von Rad *et al.*, (2004). Arthur (1979) estudou as “*black shales*” observadas no *site 398* e fez uma breve comparação com outras ocorrências destas “*black shales*” observadas no Atlântico Norte, Cornford (1979) realizou um estudo petrográfico orgânico das “*black shales*” observadas no *site 398*, Deroo *et al.*, (1979) realizaram um estudo de geoquímica orgânica das *shales* cretácicas observadas no *site 398*, Doerenkamp & Robert (1979) fizeram um estudo óptico da matéria orgânica de algumas amostras de idade Cretácica recolhidas no furo 398D e Kendrick *et al.*, (1979) realizaram um estudo relativo ao potencial gerador de petróleo de sedimentos da *leg 47*, onde se inclui o *site 398 (leg 47B)*. Já Von Rad *et al.*, (2004) analisaram os conteúdos em carbono do furo 47-398D.

Finalmente, para a modelação de *pseudo-wells*, consultei os trabalhos de Cunha (2008), Hantschal & Kauerauf (2009), Teixeira (2012) e Casação (2015). Cunha (2008) focou-se na modelação da subsidência, na caracterização dos principais pulsos extensionais associados ao *rifting* e no estudo do potencial de armazenamento de CO<sub>2</sub>, Hantschal & Kauerauf (2009) abordam os princípios de funcionamento do *software* PetroMod e Teixeira (2012) modelou a subsidência, evolução térmica e maturação de intervalos geradores Jurássicos na Bacia Lusitânica.



---

# CAPÍTULO III

---

## DADOS E METODOLOGIA

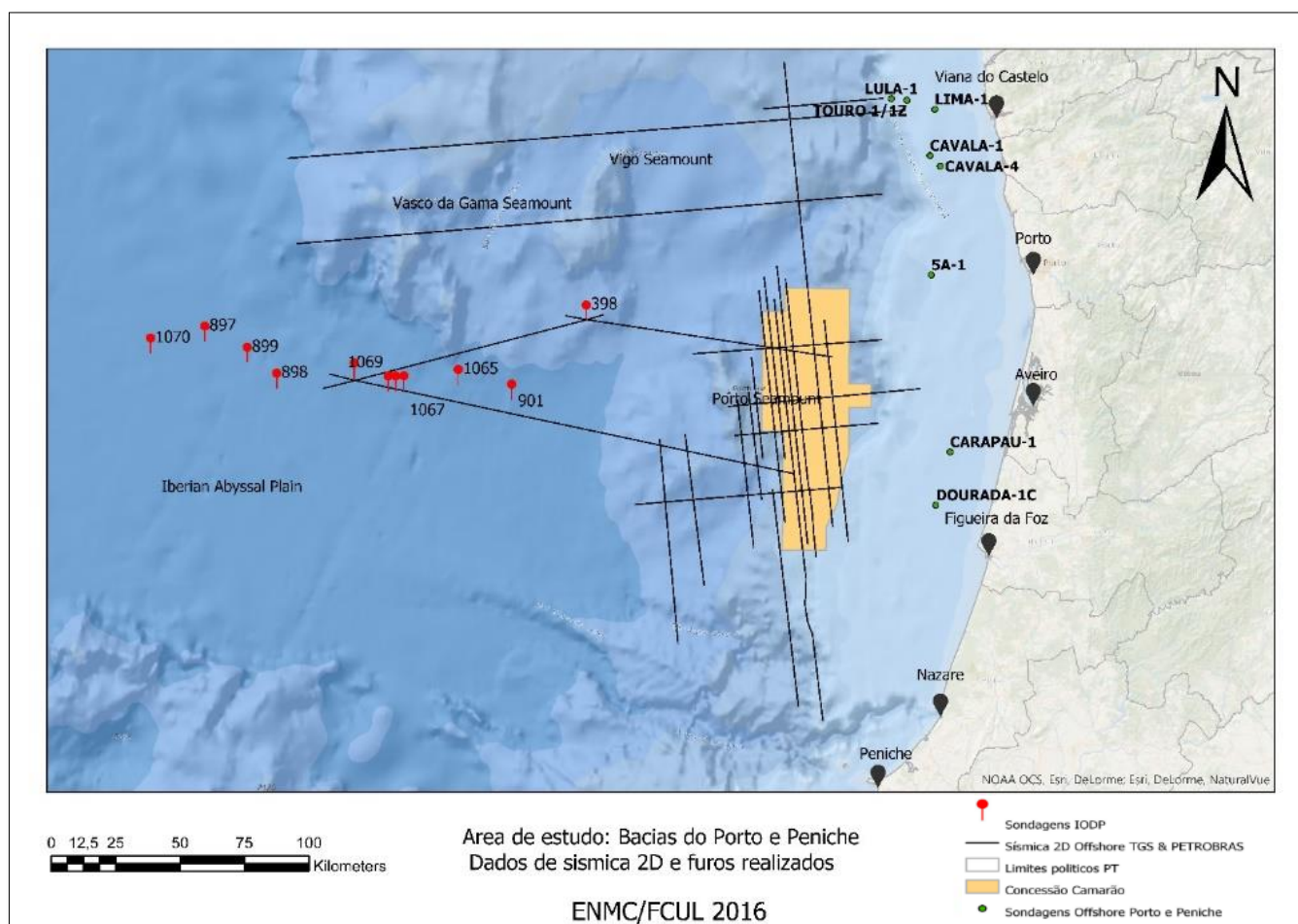


Figura 7: Mapa da área de estudo no qual se observam as sondagens IODP, as sondagens offshore das Bacias do Porto e Peniche, a sísmica 2D utilizada, a concessão Camarão e a batimetria da região.

## A. Poços Exploratórios e Poços de Pesquisa

Neste trabalho foram consultadas cinco sondagens realizadas na margem de plataforma portuguesa entre 1975 e 1994 e dez sondagens realizadas ao abrigo do *International Ocean Drilling Program* nas zonas mais distais da área de estudo.

As sondagens realizadas na margem de plataforma portuguesa situam-se na Bacia do Porto e os seus relatórios foram providenciados pela UPEP tendo sido posteriormente analisados de modo a tentar estabelecer correlações entre estas sondagens e as sondagens IODP.

Já as sondagens IODP foram consultadas nos *Initial Reports* das respectivas expedições e foi através da consulta desses relatórios que obtive a informação necessária para criar LOGs das mesmas. Foi ainda recolhida informação necessária para transformar os dados presentes em papel para dados digitais de modo a poder “amarrar” a sísmica disponível às sondagens existentes.

As sondagens consultadas neste trabalho foram as seguintes:

- Linguado-1 (5A-1), Cavala-4 (Cv-4), Lula-1 (Lu-1), Lima-1 (Li-1), Touro-1 (To-1).
- DSDP 47-398, ODP 149-897, 898, 899, e 900; ODP 173-1065, 1067, 1068, 1069 e 1070.

Tabela 3: Quadro sumário das sondagens analisadas neste trabalho

Nome do Poço	Abreviatura	Operador	Ano	Profundidade total (m)	Coluna de água (m)	Indícios de HC
Linguado-1	5A-1	SHELL	1975	2626	125	-
Cavala-4	Cv-4	TEXACO	1979	2749,3	92	Gás/Óleo
Lula-1	Lu-1	PECTEN	1985	4040	217,7	Óleo/Gás
Lima-1	Li-1	NESTE	1990	2900	110	Gás
Touro-1	To-1	TAURUS	1994	2853	131,5	Gás
DSDP 47-398	398	DSDP	1976	1740	3910	-
ODP 149-897	897	ODP	1993	837,2	5315,8	-
ODP 149-898	898	ODP	1993	341,5	5279	-
ODP 149-899	899	ODP	1993	562,5	5291	-
ODP 149-900	900	ODP	1993	805	5036,8	-
ODP 173-1065	1065	ODP	1997	631,4	4770,1	-
ODP 173-1067	1067	ODP	1997	855,6	5020,9	-
ODP 173-1068	1068	ODP	1997	955,8	5043,9	-
ODP 173-1069	1069	ODP	1997	959,3	5074,8	-
ODP 173-1070	1070	ODP	1997	718,8	5321,8	-

## i. Sondagens no *shallow-offshore*

Nas sondagens da Bacia do Porto foram individualizadas seis unidades estratigráficas:

- Unidade T/J1: Triásico – Sinemuriano;
- Unidade J2: Sinemuriano – Caloviano;
- Unidade J3: Oxfordiano Inicial – Berriasiano;
- Unidade K1: Berriasiano/Valangiano – Aptiano;
- Unidade K2: Albiano – Cenomaniano;
- Unidade K3/C1-C4: Turoniano – Holocénico.

No entanto, uma vez que o objectivo deste trabalho é a avaliação do potencial gerador das “*black shales*” do Cretácico e visto que estas não se observam nas sondagens realizadas na Bacia do Porto onde o seu equivalente é a Formação de Torres Vedras, não há qualquer possibilidade de estabelecer uma correlação estratigráfica entre as sondagens da Bacia do Porto e as sondagens IODP.

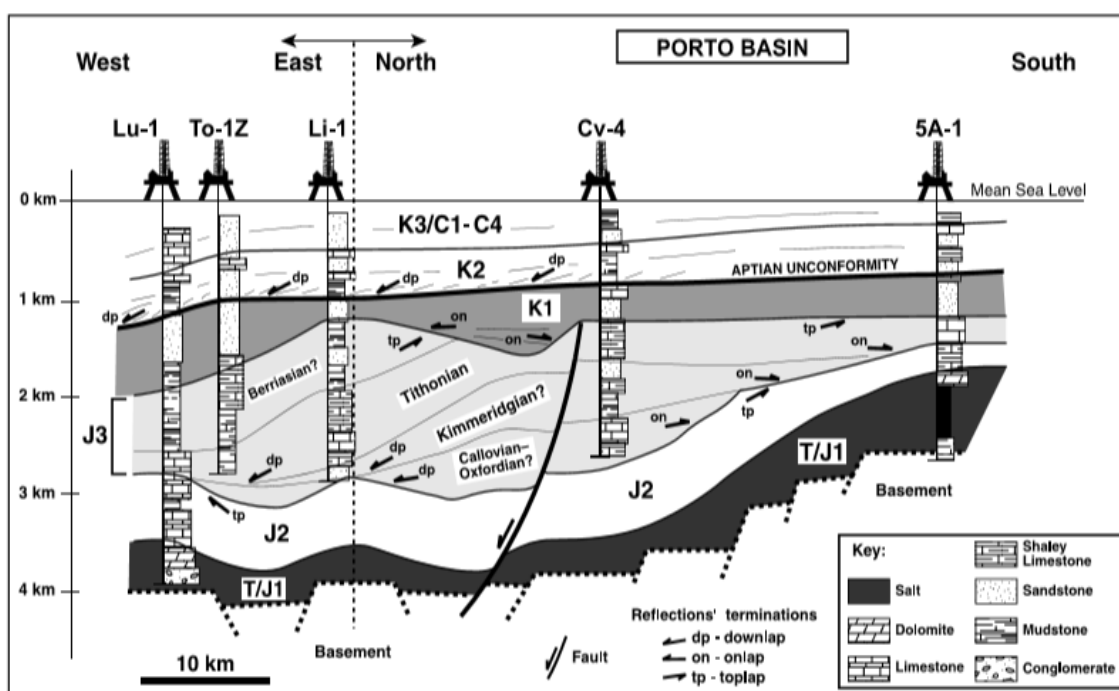


Figura 8: Perfil interpretativo das secções N-S e E-W da Bacia do Porto (Moita *et al.*, 1996, retirado de Alves *et al.*, 2006)

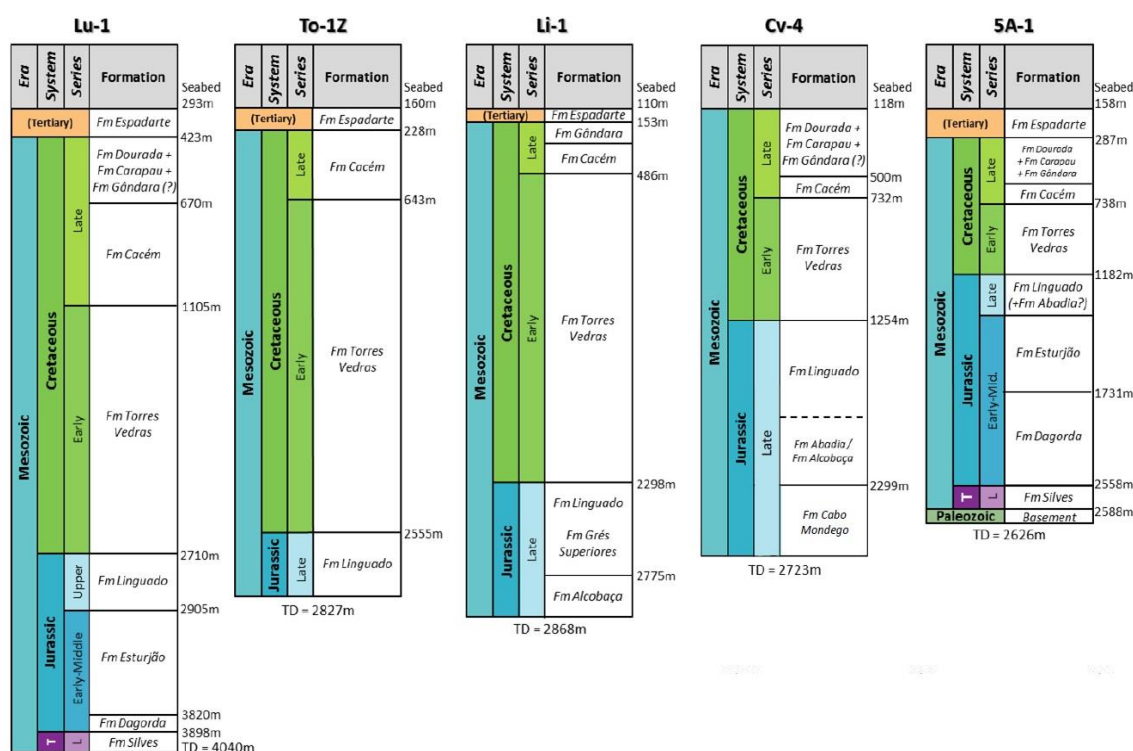


Figura 9: Quadro ilustrativo das formações litostratigráficas identificadas nos relatórios de poço Lu-1, To-1, Li-1, Cv-4 e 5A-1 (retirado de Casação, 2015).

---

## ii. Sondagens no *deep-offshore*

### Unidades definidas

Para as sondagens *IODP* estudadas neste trabalho foram definidas novas unidades cronostratigráficas baseadas na sua idade, litologia e lacunas estratigráficas observadas nos relatórios das sondagens *IODP*. Houve ainda um pequeno acerto das mesmas, fazendo-as coincidir com os horizontes sísmicos interpretados e com os principais eventos conhecidos na MOI, tendo sido definidas da seguinte forma:

- Unidade Z: Miocénico Superior - Actualidade;
- Unidade Y: Miocénico Inferior e Médio;
- Unidade X: Paleocénico Médio – Miocénico Inferior;
- Unidade WC: Turoniano – Paleocénico Médio;
- Unidade WB: Albiano e Cenomaniano;
- Unidade WA: Valanginiano – Topo do Aptiano;
- Unidade V: Noriano - Valanginiano.

A unidade V foi observada nos sites *ODP* 901, 1065 e 1069 em cristas de blocos rodados de idade Titoniana, tratando-se muito provavelmente de altos estruturais que não foram sujeitos a acarreios siliciclásticos, observando-se apenas secções carbonatadas. A unidade V foi individualizada através de lacunas estratigráficas identificadas no seu topo, através de alterações litológicas e através dos principais eventos geodinâmicos ocorridos na MOI, sendo constituída por sedimentos pré e sin-rifte.

A unidade WA foi observada nos sites *DSDP* 398 e *ODP* 897, 899, 1068, 1069 e 1070. Trata-se de uma unidade sin-rift a pós-rift onde se observam *slumps*, depósitos de fluxo de massa e brechas serpentiniticas intercalados com depósitos margosos e argilosos. Foi individualizada com base na *breakup unconformity* identificada no seu topo, na sua litologia, e em lacunas estratigráficas identificadas na sua base, apresentando menor conteúdo orgânico relativamente à unidade WB.

A unidade WB foi observada nos sites *DSDP* 398 e *ODP* 897 e 899, tratando-se da unidade na qual foram encontradas as “*black-shales*”. Esta unidade é referente à *Breakup Sequence* e marca um evento de *Drift* na área de estudo. Foi individualizada através da inconformidade de *breakup* na sua base, da inconformidade do Cenomaniano-Turoniano no seu topo, e do incremento de matéria orgânica relativamente às unidades adjacentes.

A unidade WC foi observada nos sites *DSDP* 398 e *ODP* 897, 899, 900, 1067, 1068 e 1069. Esta unidade sucede à *Breakup Sequence* e marca o início de uma fase de inversão generalizada da área de estudo. Foi individualizada através da inconformidade do Cenomaniano-Turoniano na

---

sua base, através de lacunas estratigráficas identificadas no seu topo, através da sua litologia e através dos principais eventos geodinâmicos ocorridos na MOI, sendo constituída por sedimentos depositados durante a primeira fase de inversão da bacia.

A unidade X observada em todas as sondagens excepto na sondagem *ODP* 1065, tendo sido individualizada através de lacunas estratigráficas observadas na sua base, enquanto a unidade Y foi observada nas sondagens *DSDP* 398 e *ODP* 897, 898, 899, 900 e 1065, tendo sido individualizada com base na sua litologia e nas lacunas estratigráficas identificadas no seu topo e na sua base. Estas basearam-se também nos principais eventos geodinâmicos ocorridos na MOI, sendo constituídas por sedimentos depositados durante a segunda fase de inversão da bacia.

A unidade Z foi observada nas sondagens *DSDP* 398, 897, 898, 899 e 900, tendo sido individualizada através de lacunas estratigráficas identificadas na sua base e através dos principais eventos geodinâmicos ocorridos na MOI, sendo constituída por sedimentos depositados durante a terceira fase de inversão da bacia.

## Descrição das sequências atravessadas

### **1. Sondagem *DSDP* 47-398**

**Localização:** 40°57.6'N, 10°43.1'W (A Sul do Monte Submarino de Vigo)

**Coluna de água:** 3910 m

**Profundidade total:** 1740 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios *IODP*)

- **Unidade 1:** *Oozes* nanofossilíferas margosas a crés margosas e siliciosas.  
Oligocénico inferior ao Pleistocénico.  
0 aos 594 metros.  
Estratificação rítmica.
- **Unidade 2:** Abundantes níveis zeolíticos ricos em silicatos magnesianos, com pouco carbonato e camadas numerosas de areia fina e siltes.  
Paleocénico inferior ao Oligocénico inferior.  
594 aos 774 metros.  
Depósitos de sedimentos de fundo retrabalhados por correntes de turbidez e transporte de tracção por correntes contorníticas bentónicas.
- **Unidade 3:** *Mudstones* calcárias alternadas com crés margosos, passando a *mudstones* vermelhas “estéreis” à medida que avança para a base.  
Cenomaniano ao Paleocénico.  
774 aos 947 metros.  
Sedimentos retrabalhados.
- **Unidade 4:** *Mudstones* e *claystones* escuras e *shales* terrígenas ricas em carbono  
Barremiano ao Cenomaniano.  
947 aos 1667 metros.  
Turbiditos e depósitos de vertente.

- **Unidade 5:** Calcários nanofossilíferos de grão fino intercalados com *mudstones*  
Ricas em matéria amorfa sapropélica.  
Hauteriviano ao Barremiano.  
1667 aos 1740 metros.

**Principais unidades cronostratigráficas definidas:**

- **Unidade Z:** 0 aos 326 metros (Miocénico Superior - Actualidade)
- **Unidade Y:** 326 aos 520 metros (Miocénico Inferior e Médio)
- **Unidade X:** 520 aos 775 metros (Paleocénico Superior – Miocénico Inferior)
- **Unidade WC:** 775 aos 945 metros (Turoniano – Paleocénico Médio)
- **Unidade WB:** 945 aos 1401 metros (Albiano - Turoniano)
- **Unidade WA:** 1401 aos 1740 metros (Hauteriviano - Albiano)

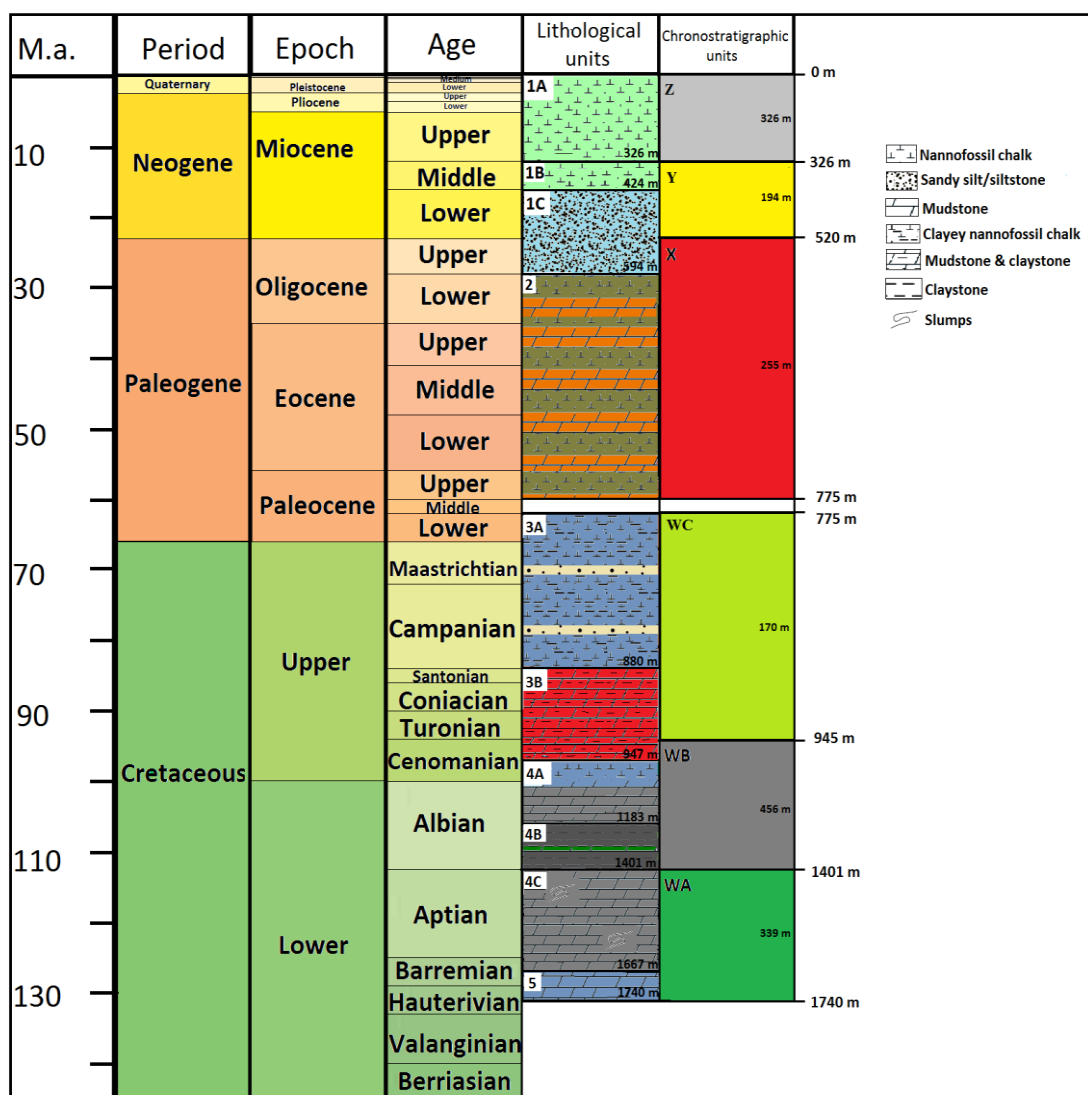


Figura 10: Coluna lito e cronostratigráfica do *site* DSDP 47-398.

---

## 2. Sondagem ODP 149-897

**Localização:** 40°50.31'N, 12°28.51'W

**Coluna de água:** 5315,80 m

**Profundidade total:** 837,20 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios IODP)

- Unidade 1: Argilas siltosas a siltes argilosos com argilas nanofossilíferas apresentando gradações entre siltes e areias finas.  
Pliocénico inferior ao Pleistocénico.  
0 aos 292,00 metros.  
Turbiditos terrígenos.
- Unidade 2
  - A: Argilitos nanofossilíferos e argilitos siltosos nanofossilíferos.  
Miocénico superior ao Pliocénico inferior.  
292,00 aos 301,20 metros.  
Origem turbidítica e pelágica/hemipelágica.
  - B: Argilitos calcários e argilitos siltosos.  
Miocénico inferior e superior.  
301,20 aos 359,80 metros.  
Turbiditos calcários retrabalhados por correntes contorníticas.
  - C: Argilitos siltosos a siltes argilosos com argilitos calcários  
Eocénico médio ao Miocénico inferior.  
359,80 aos 619,70 metros.  
Turbiditos calcários retrabalhados por correntes contorníticas.
- Unidade 3
  - A: Argilitos sem qualquer conteúdo fossilífero.  
Aptiano/Albiano ao Eocénico médio.  
619,70 aos 639,40 metros.  
Origem pelágica/hemipelágica.
  - B: Conglomerados argilosos e argilitos silto-arenosos sem qualquer conteúdo fossilífero.  
Aptiano/Albiano ao Eocénico médio.  
639,40 aos 648,70 metros.
- Unidade 4: Arenitos, dolomites, calcários, argilitos calcários acompanhados de clastos e megaclastos de peridotitos.  
Hauteriviano ao Aptiano tardio.  
648,70 aos 677,50 metros.  
Depósitos de vertente.



### Principais unidades cronostratigráficas definidas:

- **Unidade Z:** 0 aos 301 metros (Miocénico Superior - Actualidade)
- **Unidade Y:** 301 aos 360 metros (Miocénico Inferior)
- **Unidade X:** 360 aos 625 (?) metros (Paleocénico Médio – Miocénico Inferior)
- **Unidade WC:** 625 (?) aos 647 (?) metros (Turoniano – Paleocénico Médio)
- **Unidade WB:** 647 (?) aos 655 (?) metros (Albiano - Turoniano)
- **Unidade WA:** 655 (?) aos 678 metros (Hauteriviano - Albiano)

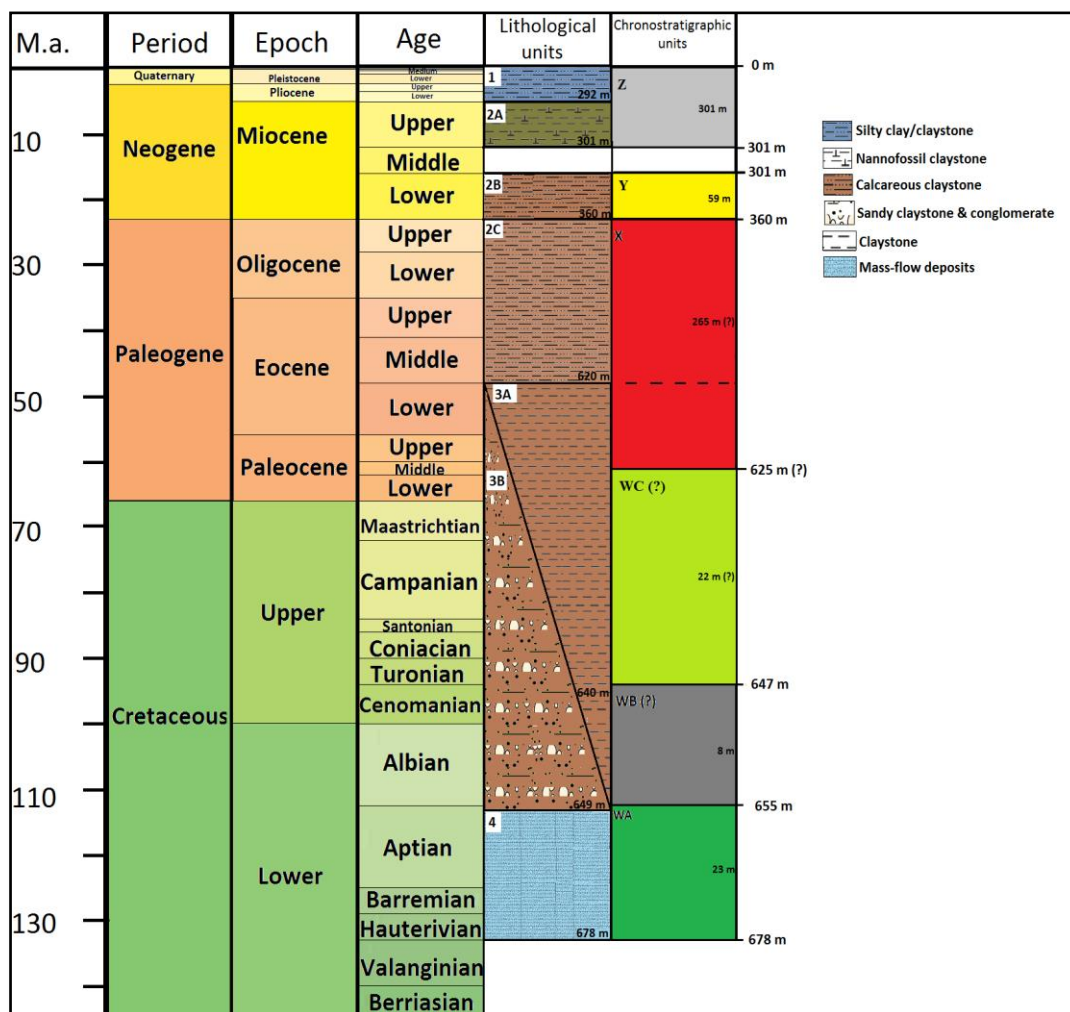


Figura 11: Coluna lito e cronostratigráfica do *site* ODP 149-897.

### 3. Sondagem ODP 149-898

**Localização:** 41°41.100'N, 12°7.380'W

**Coluna de água:** 5279,00 m

**Profundidade total:** 341,50 m


**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios IODP)

- **Unidade 1:** Argilitos siltosos a siltes argilosos com siltes, areia fina e argilitos nanofossilíferos.  
Pliocénico superior ao Pleistocénico.  
0 aos 164,40 metros.  
Turbiditos terrígenos.
- **Unidade 2**
  - A: Argilitos siltosos a siltes argilosos com argilas nanofossilíferas.  
Miocénico médio.  
163,40 aos 172,20 metros.  
Sedimentos pelágicos e hemipelágico muito bioturbados.
  - B: Argilitos siltosos a siltes argilosos com argilas nanofossilíferas.  
Oligocénico superior ao Miocénico médio.  
172,20 aos 339,70 metros.  
Contornitos calcários e Turbiditos terrígenos.


**Principais unidades cronostratigráficas definidas:**

- **Unidade Z:** 0 aos 163 metros (Pliocénico Superior - Actualidade)
- **Unidade Y:** 163 aos 264 metros (Miocénico Inferior e Médio)
- **Unidade X:** 264 aos 340 metros (Oligocénico Superior)

M.a.	Period	Epoch	Age	Lithological units	Chronostratigraphic units	
10	Quaternary	Pleistocene	Medium	1	Z	0 m
		Pliocene	Upper			163 m
	Neogene	Miocene	Upper			
			Middle	2A	Y	163 m
Lower			2B		101 m	
30		Oligocene	Upper		X	264 m
			Lower			340 m
			Upper			



Silty clay/claystone



Clayey silt/siltstone

Figura 12: Coluna lito e cronostratigráfica do site ODP 149-898.

---

## 4. Sondagem ODP 149-899

**Localização:** 40°46.332'N, 12°12.156'W

**Coluna de água:** 5291,00 m

**Profundidade total:** 235,50 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios IODP)

- Unidade 1: Argilas siltosas a siltes argilosos, argilitos nanofossilíferos, siltes e areia fina com *oozes* nanofossilíferas.  
Pliocénico.  
81,50 aos 131,65 metros.  
Turbiditos terrígenos.
- Unidade 2
  - A: Argilitos nanofossilíferos bioturbados com alguns siltes.  
Miocénico médio ao Pliocénico inferior.  
131,65 aos 206,60 metros.  
Sedimentos pelágicos e hemipelágicos com turbiditos dispersos.
  - B: Argilitos siltosos bioturbados a siltes argilosos com argilitos calcários, siltes e arenitos.  
Oligocénico ao Miocénico.  
206,60 aos 360,20 metros.  
Turbiditos retrabalhados por correntes contorníticas.
- Unidade 3
  - A: Argilitos.  
Eocénico superior.  
360,60 aos 364,66 metros.
  - B: Argilitos silto-arenosos com conglomerados e arenitos argilosos.  
Cretácico superior.  
364,60 aos 369,90 metros.  
Combinação entre uma deposição pelágica e hemipelágica, turbiditos de alta densidade e debritos arenosos, siltosos e argilosos.
- Unidade 4
  - A: Brechas serpentiniticas com alguns argilitos e argilitos calcários.  
Campaniano ao Maestrichtiano inicial.  
369,90 aos 484,20 metros.
  - B: Serpentinóis, basaltos, gabros, argilitos e alguns siltes.  
Aptiano inicial ao Barremiano.  
484,20 aos 549,90 metros.  
Depósitos de vertente.

### Principais unidades cronostratigráficas definidas:

- **Unidade Z:** 82 aos 182 metros (Miocénico Superior - Pliocénico)
- **Unidade Y:** 182 aos 290 metros (Miocénico Inferior e Médio)
- **Unidade X:** 290 aos 365 metros (Eocénico Superior – Miocénico Inferior)
- **Unidade WC:** 365 aos 408 metros (Turoniano – Paleocénico Inferior)
- **Unidade WB:** 408 aos 468 metros (Albiano - Turoniano)
- **Unidade WA:** 1401 aos 1740 metros (Barremiano - Albiano)

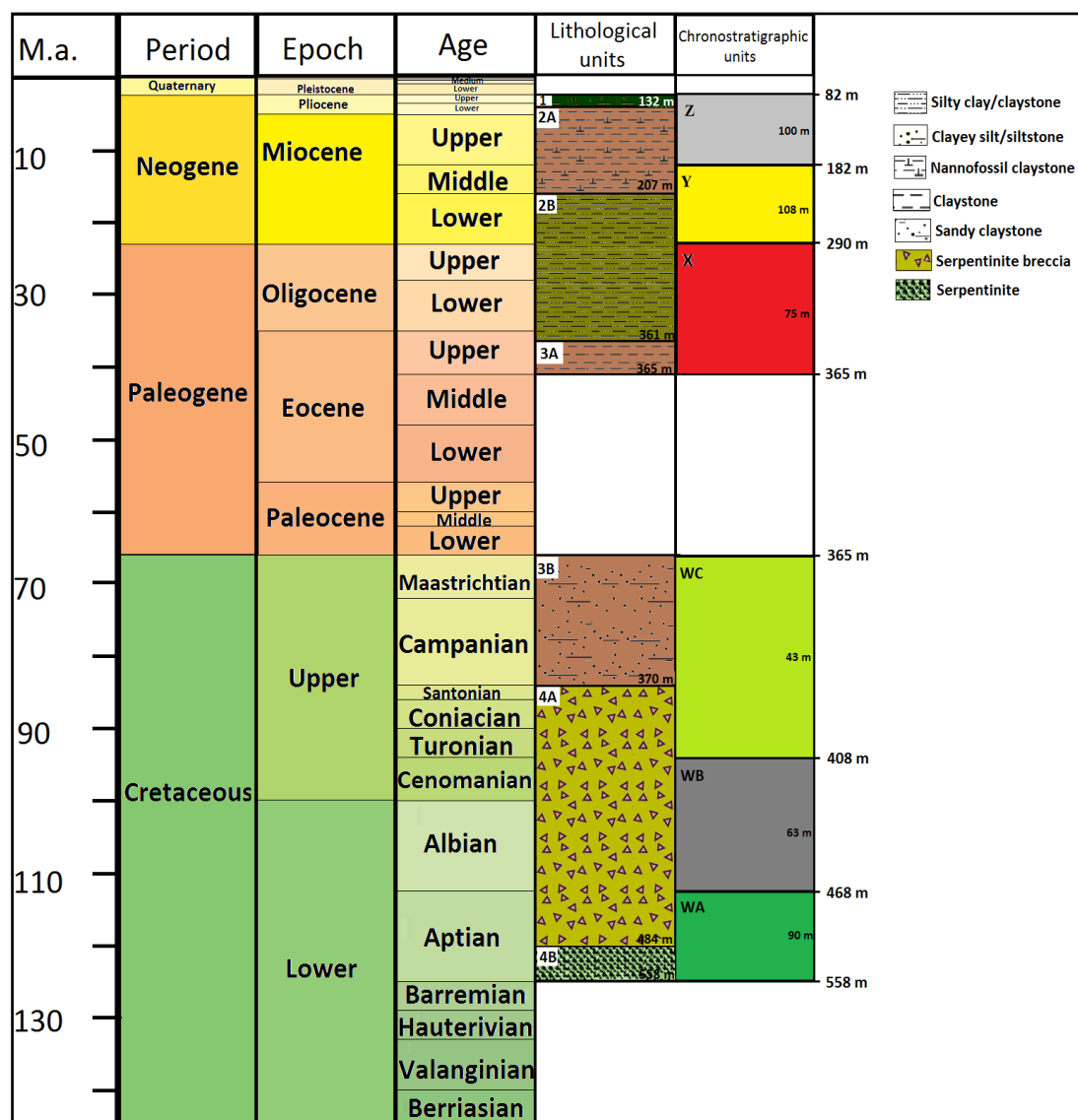


Figura 13: Coluna lito e cronostratigráfica do site ODP 149-899.

---

## 5. Sondagem ODP 149-900

**Localização:** 46°40.994'N, 11°36.252'W

**Coluna de água:** 5036,80 m

**Profundidade total:** 805,00 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios IODP)

- Unidade 1
  - A: Argilas nanofossilíferas, argilas e *oozes* nanofossilíferas.  
Pliocénico superior ao Pleistocénico.  
0 aos 67,20 metros.  
Turbiditos argilosos e sedimentos pelágicos e hemipelágicos.
  - B: Argilitos e crés nanofossilíferos.  
Miocénico superior ao Pliocénico superior.  
67,20 aos 96,00 metros.  
Sedimentos pelágicos e hemipelágicos.
  - C: Argilitos nanofossilíferos, argilitos e crés nanofossilíferas com alguns siltitos e arenitos finos  
Miocénico inferior a superior.  
96,00 aos 181,50 metros.  
Turbiditos argilosos e sedimentos pelágicos e hemipelágicos.
- Unidade 2
  - A: Argilitos nanofossilíferos e crés com argilitos e alguns argilitos siltosos e arenitos finos.  
Miocénico inferior.  
181,50 aos 234,30 metros.  
Contornitos e turbiditos com sedimentos pelágicos e hemipelágicos.
  - B: Argilitos siltosos a siltitos argilosos, argilitos nanofossilíferos e argilitos com siltes calcários e arenitos finos.  
Paleocénico ao Miocénico inferior.  
234,30 aos 748,90 metros.  
Sedimentos e prováveis turbiditos retrabalhados por correntes contorníticas.

**Principais unidades cronostratigráficas definidas:**

- Unidade Z: 0 aos 96 metros (Miocénico Superior - Actualidade)
- Unidade Y: 91 aos 234 metros (Miocénico Inferior e Médio)
- Unidade X: 234 aos 708 metros (Paleocénico Médio – Miocénico Inferior)
- Unidade WC: 708 aos 749 metros (Paleocénico Inferior e Médio)

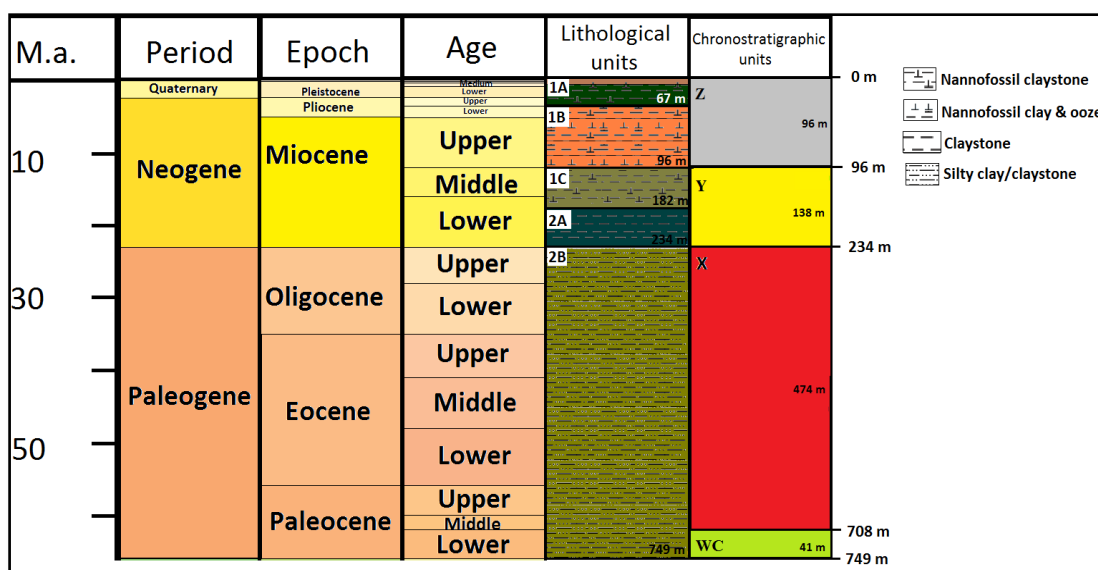


Figura 14: Coluna lito e cronostratigráfica do site ODP 149-900.

## 6. Sondagem ODP 173-1065

**Localização:** 40°43.447'N, 11°17.724'W

**Coluna de água:** 4770,10 m

**Profundidade total:** 631,40 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios IODP)

- **Unidade 2:** Crés e argilitos nanofossilíferos.  
Miocénico inferior.  
251,00 aos 308,80 metros.  
*Slumps.*
- **Unidade 5**
  - A: Argilas.  
Oxfordiano/Kimmeridgiano ao Títoniano tardio.  
308,80 aos 502,00 metros.
  - B: Argilitos bioturbados, alguns dolomitizados.  
Oxfordiano/Kimmeridgiano ao Títoniano tardio.  
308,80 aos 502,00 metros.

**Principais unidades cronostratigráficas definidas:**

- **Unidade Y:** 251 aos 309 metros (Miocénico Inferior)
- **Unidade V:** 309 aos 631 metros (Jurássico Médio e Superior)

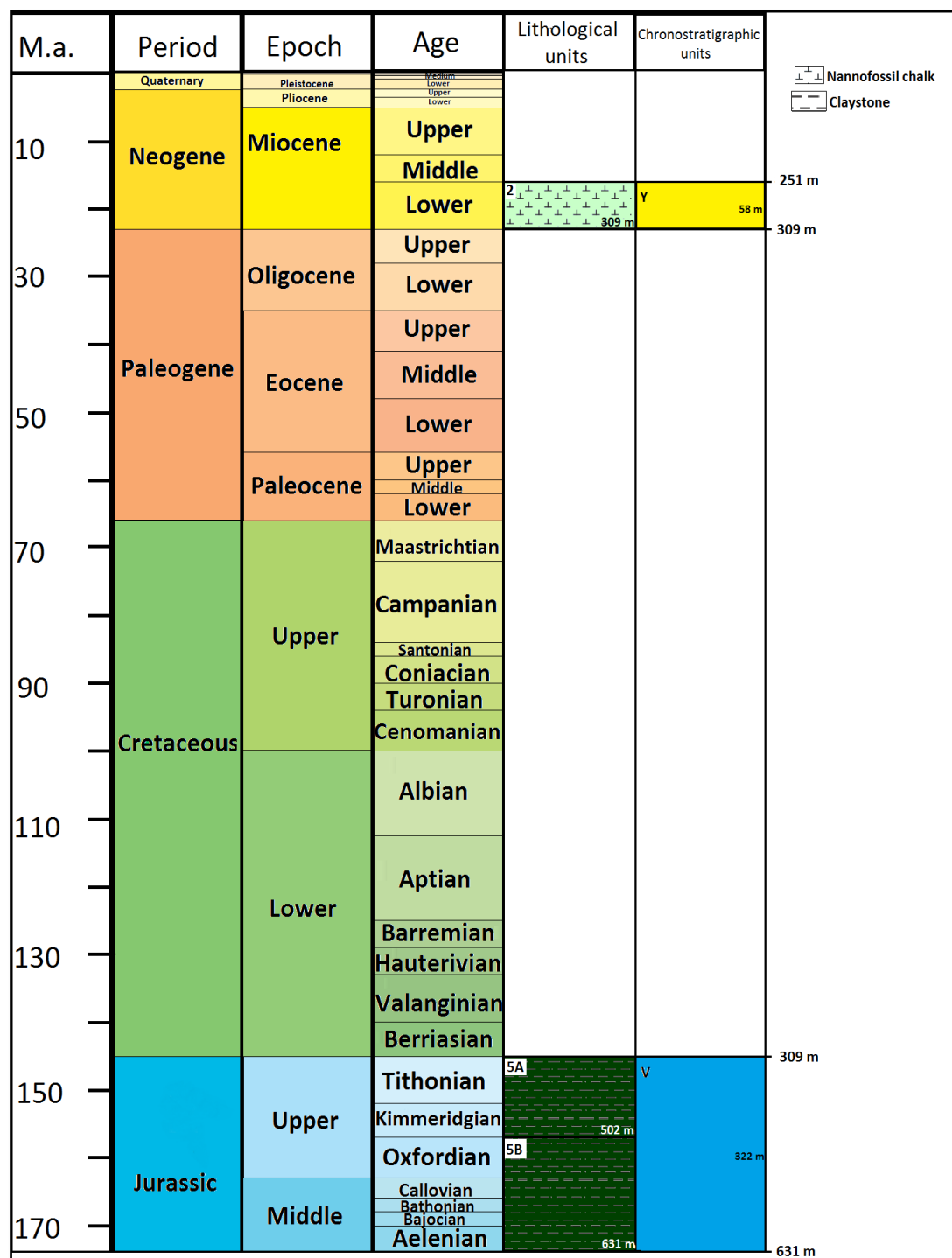


Figura 15: Coluna lito e cronostratigráfica do *site* ODP 173-1065.

## 7. Sondagem ODP 173-1067

**Localização:** 40°40.950'N, 11°35.750'W

**Coluna de água:** 5020,90 m

**Profundidade total:** 855,60 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios IODP)

- Unidade 2
  - B: Argilitos, argilitos calcários, siltitos calcários e arenitos. Paleocénico inferior-superior (?) ao Eocénico médio. 648,00 aos 763,80 metros.
- Basement (Sem unidade definida)
  - 1: Anfibolitos muito foliados e gneisses com tonalitos 763,80 aos 802,30 metros.
  - 2: Brechas anfibolíticas suportadas pela matriz 801,90 aos 822,60 metros.
  - 3: Anfibolitos pouco foliados e meta-anortositos. 822,60 as 855,60 metros.

**Principais unidades cronostratigráficas definidas:**

- **Unidade X:** 648 aos 757 metros (Paleocénico Superior - Eocénico Superior)
- **Unidade WC:** 757 aos 764 metros (Paleocénico Inferior)

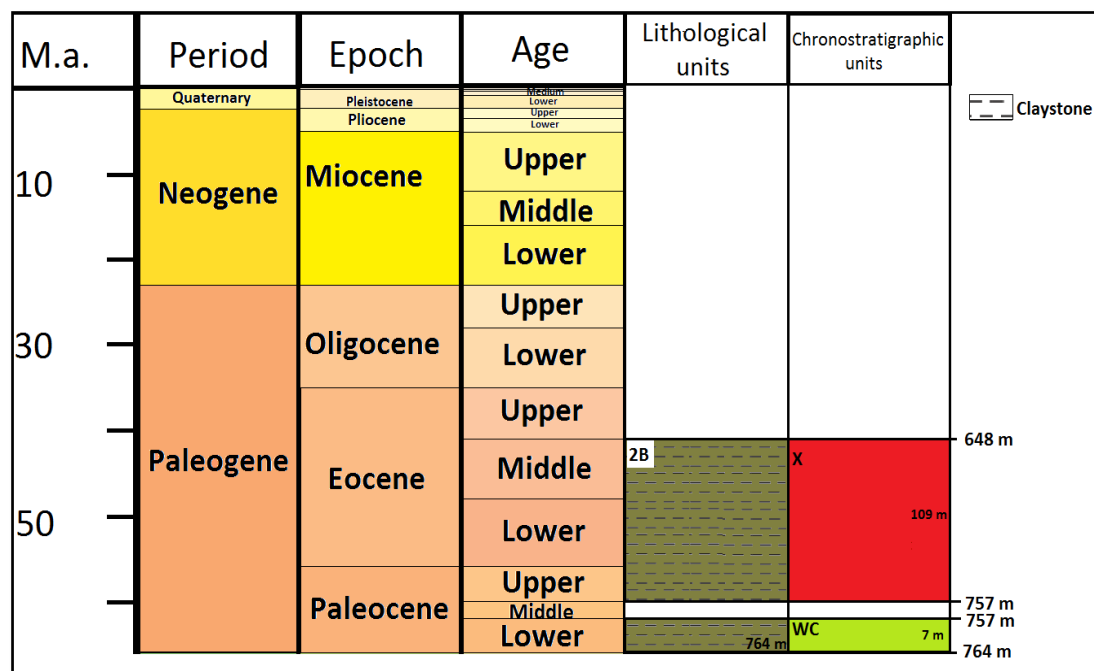


Figura 16: Coluna lito e cronostratigráfica do site ODP 173-1067.



---

## 8. Sondagem ODP 173-1068

**Localização:** 40°40.955'N, 11°36.720'W

**Coluna de água:** 5043,90 m

**Profundidade total:** 955,80 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios IODP)

- Unidade 2
  - B: Argilitos calcários, argilitos e siltitos calcários.  
Eocénico inferior a médio.  
711,30 aos 733,55 metros.  
Turbiditos e depósitos hemipelágicos.
  - C: Argilitos, argilitos calcários, crés nanofossilíferas e siltitos calcário-arenosos.  
Maestrichtiano ao Eocénico inferior.  
733,55 aos 853,02 metros.  
Depósitos do tipo *lag* originados por correntes contorníticas.
- Unidade 4
  - A: Brechas suportadas por matriz calcária com clastos de anfibolitos foliados, meta-anortositos e meta-gabros.  
Turoniano (?) ao Aptiano inicial (?).  
853,02 aos 865,60 metros.  
Debritos diversos.
  - B: Brechas suportadas por clastos anfibolíticos com matriz arenosa.  
Matriz ausente de nanofósseis, logo não datável.  
865,60 aos 884,90 metros.
  - C: Brechas de cataclasitos e clastos de meta-anortositos e meta-gabros.  
Matriz ausente de nanofósseis, logo não datável.  
884,90 aos 893,13 metros.
- Basement cristalino (Sem unidade definida)
  - 1: Serpentinóis e peridotitos ricos em plagioclase.  
893,13 aos 955,80 metros.

**Principais unidades cronostratigráficas definidas:**

- **Unidade X:** 711 aos 836 metros (Paleocénico Superior - Eocénico Superior)
- **Unidade WC:** 836 aos 853 metros (Maestrichtiano – Paleocénico Médio)
- **Unidade WA:** 853 aos 866 metros (Valanginiano - Aptiano)
- **Unidade V:** 866 aos 893 (?) metros ( Berriasiano (?))

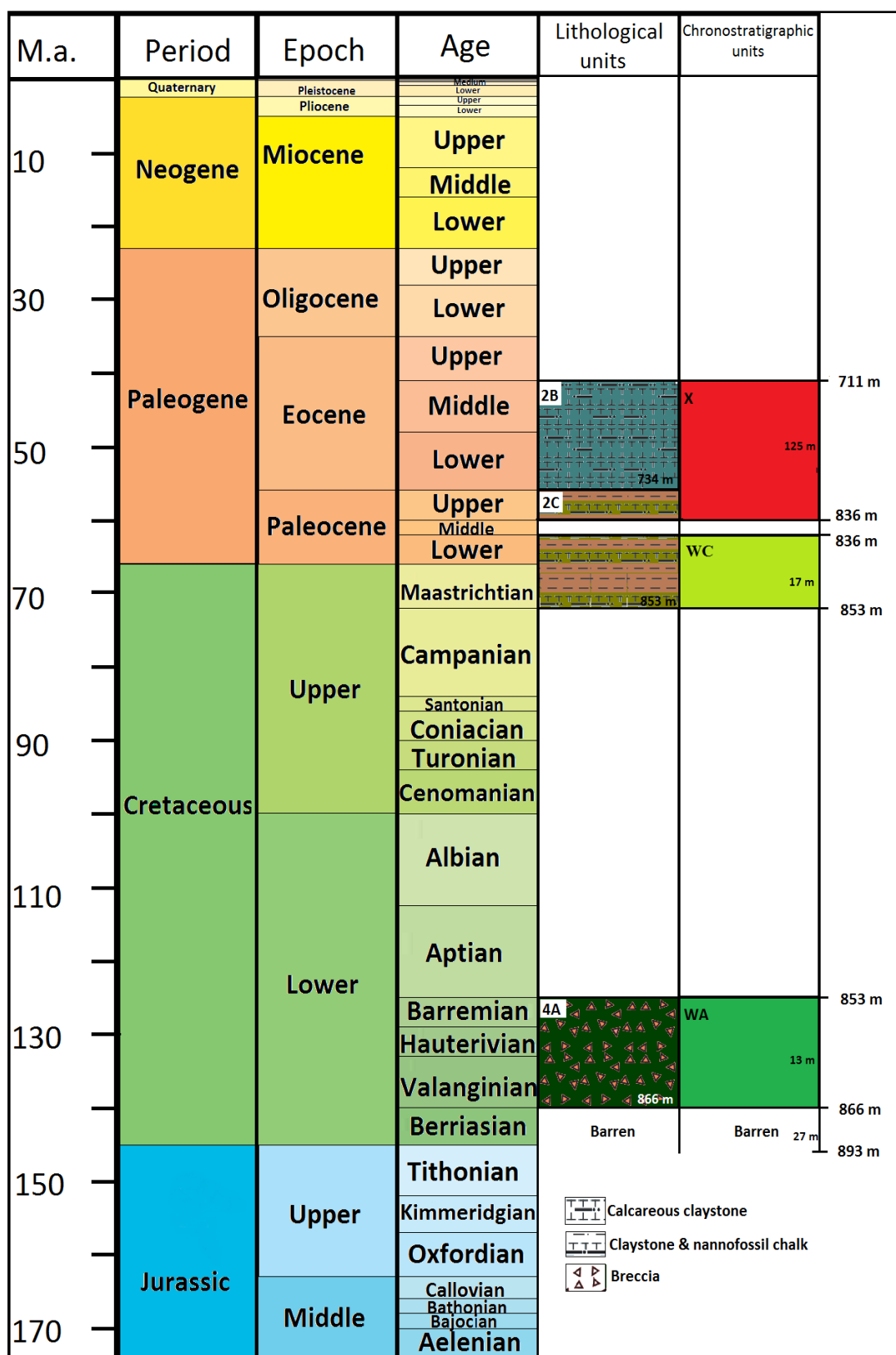


Figura 17: Coluna lito e cronostratigráfica do site ODP 173-1068.

---

## 9. Sondagem ODP 149-1069

**Localização:** 40°43.612'N, 11°46.633'W

**Coluna de água:** 5074,80 m

**Profundidade total:** 959,30 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios IODP)

- Unidade 2
  - B: Argilitos, argilitos calcários, crés nanofossilíferas e siltitos calco-arenosos.  
Paleocénico superior ao Eocénico médio.  
718,80 aos 805,80 metros.  
Turbiditos.
  - C: Argilitos, arenitos e argilitos calcários e crés nanofossilíferas.  
Campaniano tardio ao Paleocénico inferior.  
805,80 aos 865,50 metros.  
Turbiditos.
- Unidade 4: Crés nanofossilíferas.  
Valanginiano inicial (?) ao Berriasiano tardio.  
865,50 aos 867,80 metros.  
Sedimentação pelágica.
- Unidade 5
  - A: Conglomerados com clastos de *grainstones*, *boundstones* e *rudstones* com alguma argila.  
Titoniano (?)  
867,80 aos 873,70 metros.
  - B: Meta-siltitos, grauvaques meta-arcósicos e meta-arcoses dolomíticas.  
Material ausente de nanofósseis, logo não datável.  
873,70 aos 959,30 metros.

**Principais unidades cronostratigráficas definidas:**

- **Unidade X:** 719 aos 806 metros (Paleocénico Superior - Eocénico Superior)
- **Unidade WC:** 806 aos 866 metros (Campaniano – Paleocénico Médio)
- **Unidade WA:** 866 aos 868 metros (Topo do Berriasiano e Valanginiano)
- **Unidade V:** 868 aos 874 (?) metros (Kimmeridgiano (?) e Titoniano)

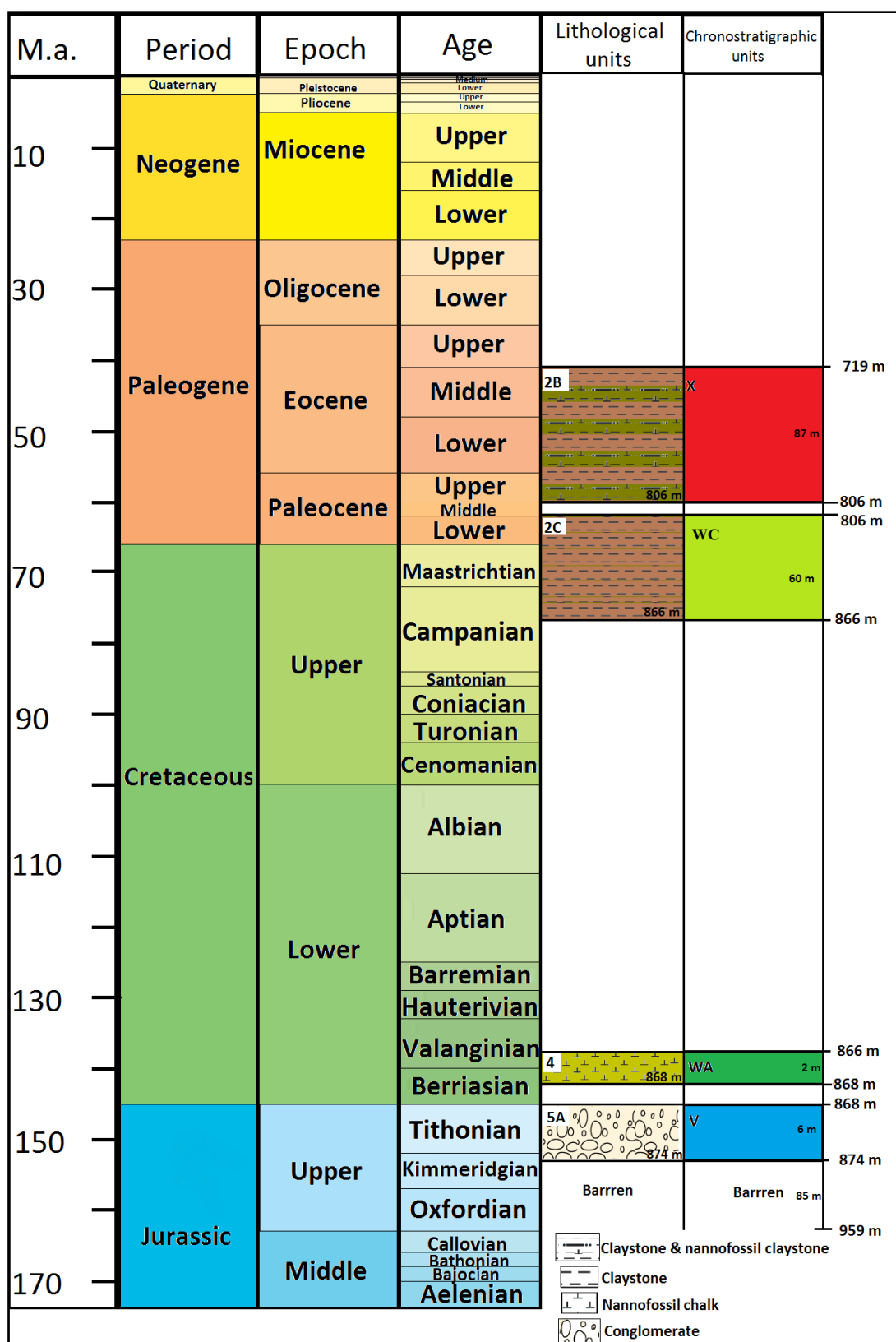


Figura 18: Coluna lito e cronostratigráfica do *site* ODP 173-1069.

---

## 10. Sondagem *ODP 173-1070*

**Localização:** 40°47.779'N, 12°43.430'W

**Coluna de água:** 5321,80 m

**Profundidade total:** 718,80 m

**Principais unidades litológicas identificadas** (relatórios *IODP*)

- Unidade 2
  - C: Argilitos e argilitos siltosos.  
Eocénico superior (?) ao Oligocénico inferior.  
599,00 aos 619,00 metros.  
Depósitos hemipelágicos.
- Unidade 3: Argilitos e argilitos siltosos.  
Material ausente de nanofósseis, logo não datável.  
619,00 aos 657,97 metros.  
Turbiditos.
- Unidade 4: Crés nanofossilíferos, crés calcários e brechas.  
Aptiano tardio.  
657,97 aos 658,37 metros.  
Debritos e/ou turbiditos acompanhados de sedimentos pelágicos.
- Basement (Sem unidade definida)
  - 1: Brechas acompanhadas de clastos serpentiniticos em matriz calcítica.  
658,37 aos 676,20 metros.
  - 2A: Gabros pegmatíticos  
676,20 aos 679,74 metros.
  - 2B: Peridotitos serpentinizados  
679,74 aos 718,80.

**Principais unidades cronostratigráficas definidas:**

- **Unidade X:** 599 aos 619 metros (Oligocénico Inferior)
- **Unidade WA:** 649 aos 658 metros (Aptiano)

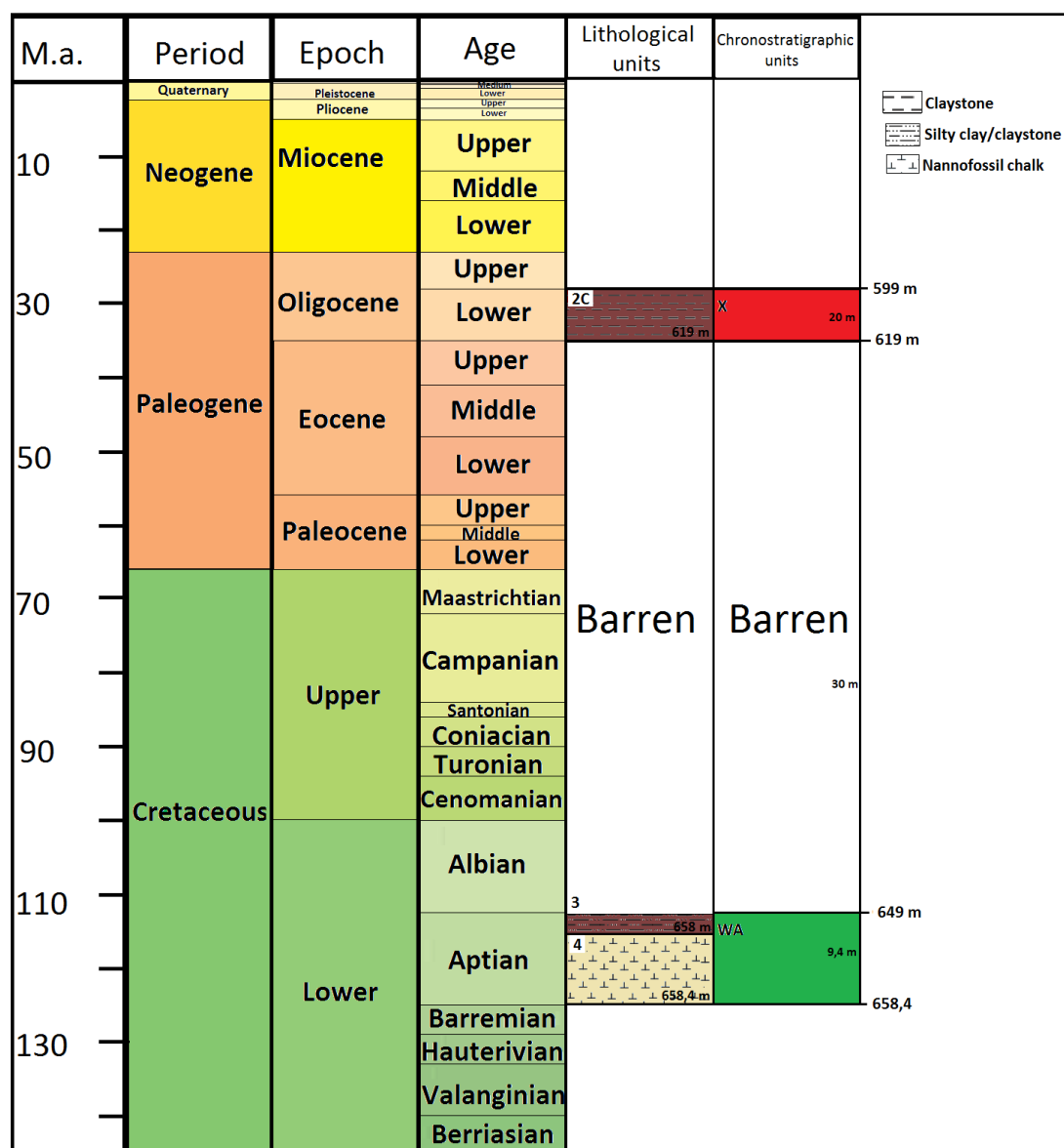


Figura 19: Coluna lito e cronostratigráfica do site ODP 173-1070.

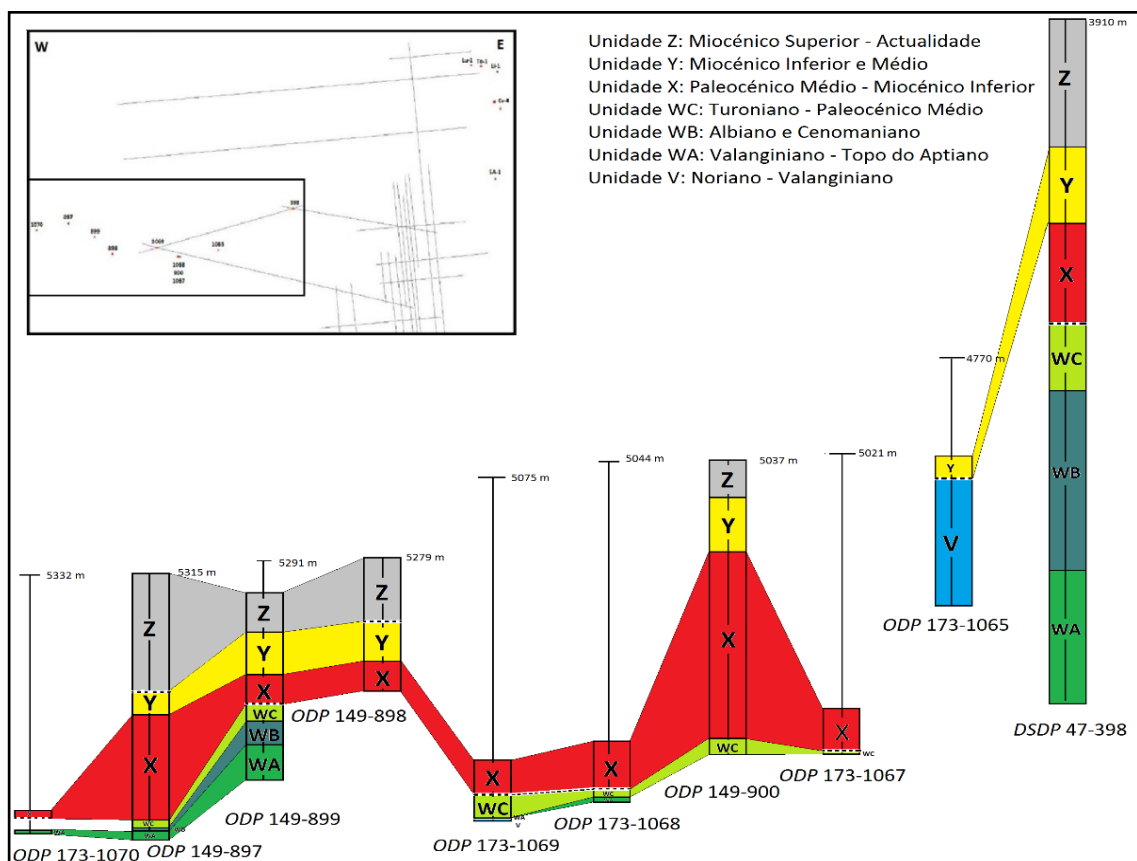


Figura 20: Correlação cronostratigráfica entre todas as sondagens *IODP*.

De modo a que fosse possível identificar e correlacionar as sondagens *IODP* com a sísmica da área de estudo foi necessária a conversão destas sondagens cujas espessuras de formação eram reais (m) para *TWT* (s). Essa conversão *TD-TWT* foi realizada através da criação de um modelo de velocidades no *software* Landmark Decision Space onde foi criada uma *Time Depth Curve* para cada uma das sondagens *IODP* que baseou nos relatórios *IODP* onde são apresentadas as velocidades de cada formação. Para além disso, estas sondagens foram ainda calibradas com o fundo marinho observado na sísmica.

Tabela 4: Modelo de velocidades da sondagem *DSDP* 47-398 à esquerda e calibração das sondagens *IODP* com o fundo marinho à direita.

Profundidade (m)	Tempo (ms)	Velocidade (m/ms)
0.0	0.0	
373.0	408.0	0.9142157
662.0	708.0	0.9633333
862.0	902.0	1.0309278
945.0	991.0	0.9325843
1260.0	1290.0	1.0535117
1401.0	1406.0	1.2155173
1440.0	1434.5	1.3684211
1534.0	1512.0	1.2129033
1620.0	1576.4	1.3354032
1677.0	1617.8	1.3768108
1740.0	1655.8	1.6578947

Site	Shift value (ms)
S398	5205
S897	7093
S898	7044
S899	7058
S900	6637
S1065	6451
S1067	6627
S1068	6641
S1069	6727
S1070	7094

## B. Linhas sísmicas 2D

Neste trabalho foram utilizadas linhas sísmicas de reflexão 2D cedidas pela UPEP, sendo parte delas adquiridas pela TGS-NOPEC entre 2000 e 2001 (*PD lines*) e outra parte adquirida PETROBRAS e reprocessada pela FUGRO em 2008 (*BR lines*) junto à concessão Camarão.

Tabela 5: Quadro correspondente às linhas sísmicas analisadas na área de estudo.

Campanha de aquisição	Ano de aquisição	Número de perfis interpretados	Qualidade dos dados	Local
TGS-NOPEC	2000-2001	14: PD00-101, 117, 121, 124, 129, 204, 208, 407B, 409B, 901, 902, 903; PD02-105, 115	Razoável a Excelente	MPI, MPE, MD
PETROBRAS-FUGRO	2008	8: 46BR-0059, 0063, 0064, 0065, 0066, 0067, 0068, 0069	Excelente	MPI, MPE

A interpretação de dados sísmicos é fundamental para entender a estrutura e a sequência deposicional existentes na área de estudo. Assim sendo, de todas as linhas existentes foram selecionadas 22 para interpretação de modo a “amarrar” a sísmica existente aos poços estudados e a compreender a geometria das zonas de interesse.

Os perfis sísmicos analisados neste trabalho apresentam uma escala vertical em *TWTT* (*two-way-travel time*). No entanto, para a realização da modelação térmica, foi necessária a conversão dos horizontes sísmicos interpretados para profundidade (m) através da utilização de modelos de velocidades recolhidos dos relatórios das sondagens *IODP*, de modo a obter a espessura métrica de cada unidade. O modo como esta conversão foi realizada será abordado mais à frente neste trabalho. Não foi realizado qualquer tratamento de sinal acústico devido à elevada quantidade de tempo necessária para a execução dos *workflows* de processamento.



## C. Interpretação sísmica

A interpretação sísmica realizada neste trabalho baseou-se principalmente na interpretação de Soares *et al.* (2012) mas também na interpretação de Alves *et al.* (2006), Soares *et al.* (2014) e Casacão (2015). A calibração final da interpretação foi feita através de *crosslines* com as linhas PD00-903 e 902 interpretadas por Soares *et al.* (2012) ou através de outras linhas previamente interpretadas.

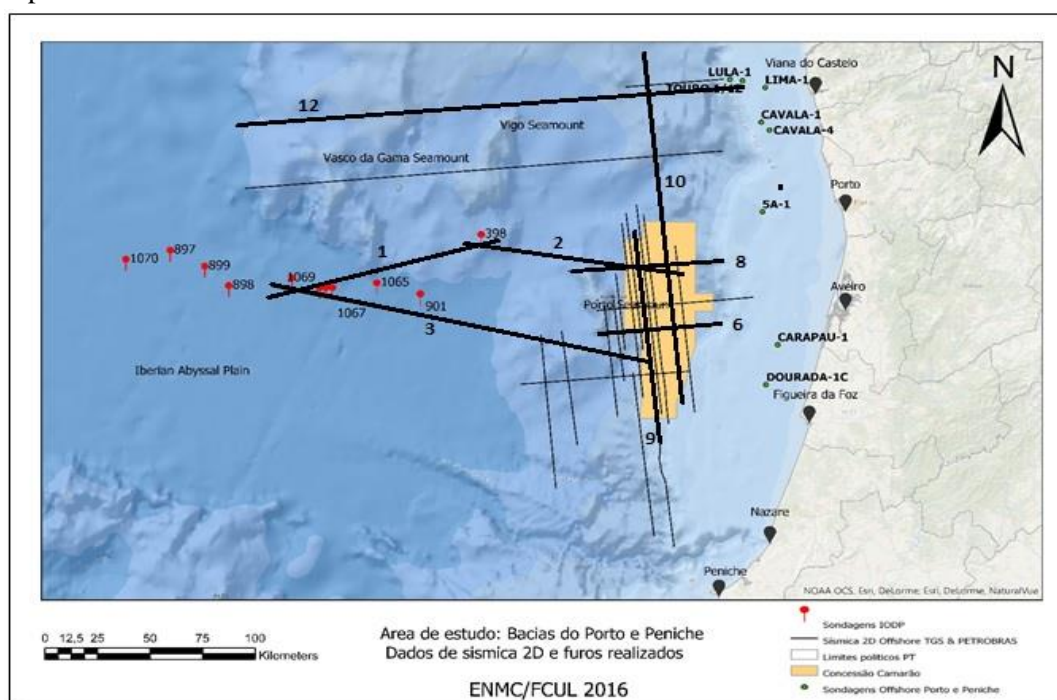


Figura 21: Localização das sondagens e linhas sísmicas analisadas neste estudo. Estão representadas as sondagens realizadas no *shallow-offshore* da Bacia do Porto, as sondagens IODP no *deep-offshore*, estando ainda destacadas as principais linhas sísmicas (1, 2, 3, 6, 8, 9, 10 e 12).

Esta interpretação foi também realizada segundo os fundamentos clássicos de interpretação sísmo-estratigráfica de Mitchum *et al.*, (1977), Payton (1977) e Catuneanu (2006) na aplicação à estratigrafia sequencial. A interpretação sísmica 2D realizada permitiu um melhor entendimento da evolução tectónica e estratigráfica da zona de estudo e permitiu delimitar os pacotes associados à *Breakup Sequence*, no qual se encontram as “*black shales*” do Cretácico.

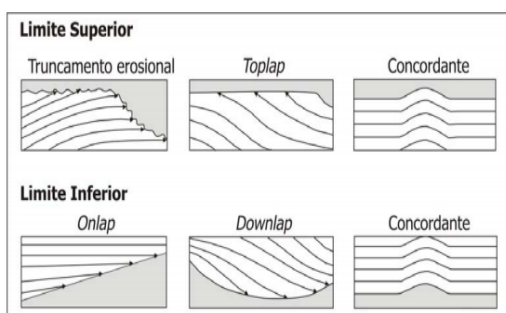


Figura 22: Esquema dos padrões de terminação de reflexões nos limites superior e inferior de uma sequência deposicional (modificado de Mitchum *et al.*, 1977).

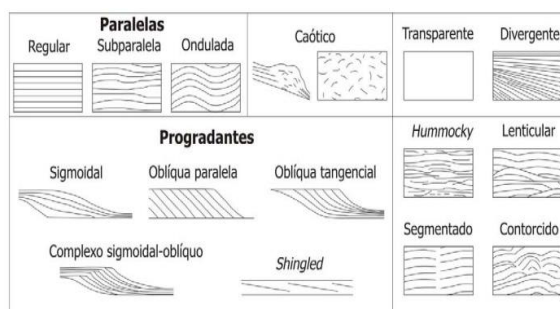


Figura 23: Esquema de padrões de configurações de fácies sísmicas (modificado de Mitchum *et al.*, 1977).

Na interpretação sismo-estratigráfica foram definidos oito horizontes sísmicos de interesse baseados essencialmente nos horizontes referenciados pelo *Groupe Galice* (1979) que foram parcialmente modificados através do acréscimo dos horizontes azul claro e rosa e da alteração do horizonte vermelho. Estes definem o topo e a base das principais unidades sismo-estratigráficas e cronostatigráficas consideradas neste trabalho. Os horizontes sísmicos considerados foram então os seguintes:

- A. **Reflector azul escuro** referente ao fundo marinho. Marca o topo das unidades sismo-estratigráfica 1a e cronostatigráfica Z;
- B. **Reflector verde** referente à transição da segunda para a terceira fase de inversão, entre o Miocénico Médio e o Miocénico Superior. Marca o topo das unidades sismo-estratigráfica 1b e cronostatigráfica Y, e a base das unidades sismo-estratigráfica 1a e cronostatigráfica Z.
- C. **Reflector roxo** referente à transição da primeira para a segunda fase de inversão, no Paleocénico Médio. Marca o topo das unidades sismo-estratigráfica 1b cronostatigráfica WC, e a base das unidades sismo-estratigráfica 1b e cronostatigráfica X.
- D. **Reflector amarelo** referente à transição do *drift* Cretácico para a inversão da área de estudo, entre o Cenomaniano e o Turoniano. Marca o topo das unidades sismo-estratigráfica 3 e cronostatigráfica WB correspondentes à *Breakup Sequence*, unidade na qual se encontram as “*black shales*”. Marcam também a base das unidades sismo-estratigráfica 2 e cronostatigráfica WC.
- E. **Reflector laranja** referente à transição do *rifting*/pós-rift para o evento de *Breakup*, no topo do Aptiano. Marca o topo das unidades sismo-estratigráfica 4 e cronostatigráfica WA, e a base das unidades sismo-estratigráfica 3 e cronostatigráfica WB (BS).
- F. **Reflector azul claro** referente ao evento de *rifting* que atinge o seu *clímax* entre o Berriasiano e o Valangiano. Marca o topo das unidades sismo-estratigráfica 5 e cronostatigráfica V, e a base das unidades sismo-estratigráfica 4 e cronostatigráfica WA.
- G. **Reflector rosa** referente à presença de evaporitos do Jurássico Inferior, mais especificamente do Hetangiano;
- H. **Reflector vermelho** referente ao *basement* acústico cuja idade provável é de cerca de 216 Ma, quando se iniciou a fase de *rifting* entre o Triásico Superior e o Jurássico Inferior. Marca a base das unidades sismo-estratigráfica 5 e cronostatigráfica V.

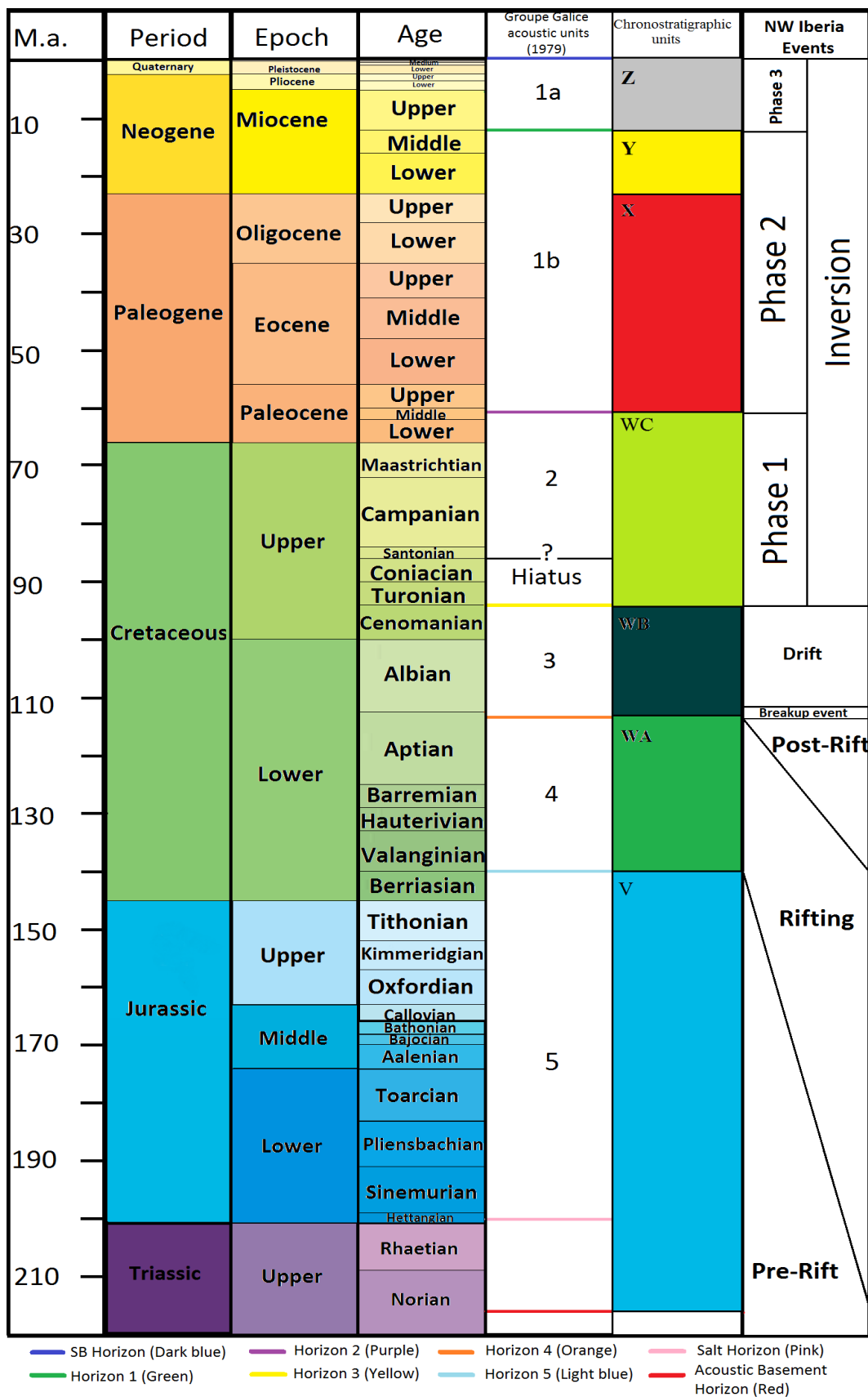


Figura 24: Coluna sismo-estratigráfica dos horizontes sísmicos, das unidades cronostratigráficas e dos eventos de interesse na zona de estudo. As unidades sísmicas foram baseadas nas *Groupe Galice* (1979) *acoustic units*, embora limitando a unidade 4 do Berriasiano/Valanginiano ao topo do Aptiano, acrescentando à coluna a unidade 5 que vai desde o Triásico ao Berriasiano/Valanginiano e que representa outro episódio de *rifting*.

Tabela 6: Tabela dos horizontes sísmicos interpretados, unidades sismo e cronostatigráficas que estes definem e carácter sísmico das suas terminações.

Horizontes sísmicos	Unidades sismo-estratigráficas	Unidades cronostatigráficas	Carácter de terminações
<i>SB</i> (azul escuro)	Fundo marinho	Fundo marinho	Truncaturas ; <i>Toplaps</i>
1 (verde)	Base da unidade 1a	Base da unidade Z	Truncaturas; <i>Toplaps</i> ; <i>Downlaps</i> ; <i>Onlaps</i>
2 (roxo)	Base da unidade 1b	Base da unidade X	
3 (amarelo)	Base da unidade 2 (Topo da <i>LBS</i> )	Base da unidade WC (Topo da <i>LBS</i> )	Truncaturas; <i>Downlaps</i> ; <i>Onlaps</i>
4 (laranja)	Base da unidade 3 (Base da <i>LBS</i> )	Base da unidade WB (Base da <i>LBS</i> )	Truncaturas; <i>Onlaps</i> ; <i>Downlaps</i>
5 (azul claro)	Base da unidade 4	Base da unidade WA	<i>Onlaps</i> ; <i>Downlaps</i>
<i>Salt</i> (rosa)	Evaporitos do Hetangiano	Evaporitos do Hetangiano	Truncaturas
<i>Acoustic basement</i> (vermelho)	Base da unidade 5 ( <i>basement</i> )	Base da unidade V ( <i>basement</i> )	Truncaturas; <i>Downlaps</i>

Tabela 7: Tabela das unidades sismo-estratigráficas identificadas, das formações equivalentes, da litologia provável e do carácter das suas reflexões internas.

Unidades sismo-estratigráficas (Groupe Galice, 1979)	Equivalente cronostatigráfico	Formações equivalentes no <i>onshore</i> e <i>shallow-offshore</i>	Litologia provável (Groupe Galice, 1979; Maldonado, 1979)	Carácter das reflexões internas
1a	Unidade Z	Fm Espadarte	Intercalações de areia a turbiditos ricos em argilas. Material pelágico e hemipelágico.	Amplitude moderada a elevada; Continuidade reduzida a boa; Reflexões paralelas, onduladas, sigmóidais ou transparentes; <i>Downlaps</i> , <i>Onlaps</i> e Truncaturas
1b	Unidades Y e X		Intercalações de areia a turbiditos e contornitos ricos em argilas. Material pelágico e hemipelágico.	Amplitude baixa a elevada; Continuidade reduzida; Reflexões paralelas, onduladas, oblíquas ou transparentes; <i>Downlaps</i>
2	Unidade WC	Fm Gândara, Carapau, Dourada e Cacém	Turbiditos argilosos a arenosos, oozes pelágicas e debritos locais.	Amplitude moderada a elevada; Boa continuidade; Reflexões sub-paralelas, onduladas ou sigmóidais, por vezes transparentes; <i>Downlaps</i> e <i>Onlaps</i>
3	Unidade WB	Fm Torres Vedras e Cacém	Oozes pelágicas, turbiditos e debritos locais; Brechas serpentiniticas com blocos de peridotitos e argilitos (Site 899).	Amplitude baixa a elevada; Continuidade reduzida a moderada; Reflexões sub-paralelas, oblíquas, caóticas ou sigmóidais, por vezes transparentes; <i>Downlaps</i> e <i>Onlaps</i>
4	Unidade WA	Fm Torres Vedras	Turbiditos argilosos a arenosos com elevados conteúdos de areia e possível presença de carbonatos.	Amplitude moderada a elevada; Descontínuas a semi-contínuas; Reflexões sub-paralelas, ondulatórias ou caóticas; <i>Downlaps</i> e <i>Onlaps</i>
5	Unidade V	Fm Cabo Mondego, Alcobaca, Linguado, Esturjão, Dagorda e Silves	Arenitos, argilas, carbonatos e evaporitos.	Amplitude moderada a elevada; Descontínuas a semi-contínuas; Reflexões sub-paralelas, sigmóidais, caóticas ou transparentes; <i>Downlaps</i> e <i>Onlaps</i>

---

A interpretação sismo-estratigráfica iniciou-se com a identificação do fundo marinho e dos horizontes 3 (amarelo) e 4 (laranja) correspondentes ao topo e à base da *LBS* (*lithospheric breakup surface*), respectivamente. Marcam também o topo e a base da *Breakup Sequence*. Estes foram os primeiros reflectores a serem identificados uma vez que são facilmente identificáveis e estão bem caracterizados e mapeados por Groupe Galice (1979), Wilson *et al.*, (2004) e Alves (2006), Soares (2014) e Casacão (2015).

Estes horizontes delimitam a unidade sismo-estratigráfica 3 e unidade cronostratigráfica WB que vai do topo do Aptiano ao Cenomaniano, tratando-se das unidades de maior importância neste trabalho uma vez que contém a *Breakup Sequence* e as “*black shales*” do Albiano. Estas estão associadas a um importante evento geodinâmico que ocorreu na zona de estudo, depositando-se após o evento de *breakup* e correspondendo a uma fase de *Drift*, ajudando no entendimento da evolução desta zona a nível regional, constituindo também um importante ponto de partida para o estabelecimento dos restantes horizontes sísmicos.

Ao contrário da identificação dos horizontes *SB*, 3 e 4, existiram algumas dúvidas na definição dos restantes horizontes sísmicos que constituem os limites das unidades sismo-estratigráficas acima definidas e a sua identificação baseou-se na consulta dos trabalhos Groupe Galice (1979), Alves (2006) e Casacão (2015). Em alguns locais estas foram calibradas com a sua identificação na sondagem *DSDP* 47-398 e houve uma tentativa de calibrar a linha sísmica que cruza esta sondagem com as restantes linhas sísmicas do trabalho.

O facto de grande parte das linhas sísmicas não terem grande resolução em profundidade, dificultou muito a interpretação dos horizontes sísmicos mais profundos, nomeadamente o horizonte 4 e *basement* acústico que define o topo do soco Hercínico.

Embora tenham sido interpretadas 22 linhas sísmicas quer da TGS-NOPEC quer da PETROBRAS-FUGRO, foram seleccionadas apenas 8 linhas sísmicas da TGS-NOPEC que serão representadas seguida. A sua selecção baseou-se na sua localização, na sua intersecção ou não com sondagens *IODP* e no *overburden* provável a que unidade sismo-estratigráfica 3 foi sujeita nessas linhas.

---

## D. Modelação de espessuras

A modelação de espessuras iniciou-se através da realização de uma modelação 3D no *software* Landmark Decision Space dos diferentes horizontes interpretados que me ajudaram, juntamente com os mapas de isócronas, a seleccionar quais as áreas depocêntricas com possível potencial petrolífero a serem modeladas no *software* PetroMod, permitindo ainda compreender a evolução tectónica e o preenchimento sedimentar gradual da área de estudo. Nesta modelação foram testados todos os tipos de interpolação (*Kriging*, *Least Squares*, *Refinement Grid* e *Triangulation*) e cheguei à conclusão de que os horizontes 1 a 5 estão melhor representados através da interpolação por *Refinement Grid* enquanto o fundo do mar (*SB*), os evaporitos (*salt*) e o *basement* acústico são melhor representados através da interpolação por *Least Squares*.

Para esta modelação utilizou-se uma escala de cores apenas para o *basement* e o fundo marinho visto que estes representam a base e o topo das bacias, permitindo-nos obter uma ideia das variações de profundidade destas, o que nos permite inferir acerca da tectónica e da geomorfologia locais, levando-nos a ter uma ideia inicial de onde se encontram as principais áreas depocêntricas. Para as restantes unidades não foi utilizada uma escala de cores pois, muito provavelmente, a interpretação tornar-se-ia confusa devido à intensa mistura de cores e assim conseguimos facilmente entender a evolução do preenchimento sedimentar da bacia. No entanto todas as unidades possuem linhas equidistantes de aproximadamente 1000 ms para que se percebe minimamente a variação de profundidade nas diferentes unidades.

De seguida foram criados, nesse mesmo *software*, mapas de isócronas relativos à espessura entre os reflectores 3 (amarelo) e 4 (laranja) e o fundo marinho de modo a que se possa calcular o *overburden* a que as “*black shales*” estão sujeitas. Foi ainda realizado um terceiro mapa de isócronas entre os reflectores 3 e 4 de modo a determinar as variações de espessura da *Breakup Sequence*.

Este *overburden* é referente à unidade cronostratigráfica WB, equivalente da unidade sismo-estratigráfica 3 (Groupe Galice, 1979), que contém as “*black shales*” e que se situa entre o topo do Aptiano e o Cenomaniano. As versões optimista e pessimista fornecem informação acerca do soterramento máximo e mínimo a que este intervalo foi sujeito, sendo que a versão optimista assume que todo o intervalo tem potencial gerador enquanto a versão pessimista assume que só o topo do intervalo tem potencial gerador. É através do *overburden* que se pode obter informação acerca de uma eventual maturação térmica das unidades em questão, cruzando-o com outra informação tais como a litologia, o *TOC* (Carbono Total Orgânico), o *HI* (Índice de Hidrogénio), a profundidade da coluna de água e os *heat flows* ao longo do tempo.

---

Visto que as “*black shales*” ocorreram no início da *Breakup Sequence*, então, para a obtenção de mapas de isócronas, foi calculado um outro horizonte fictício que representa metade da espessura da *Breakup Sequence*. Assim sendo, a perspectiva optimista de *overburden* foi obtida através de um mapa de isócronas relativo à espessura entre o reflector 4 (laranja) e o fundo do marinho enquanto a perspectiva pessimista, para ser mais exacta, foi obtida através de um mapa de isócronas relativo à espessura entre esse reflector fictício e o fundo do mar, em vez de se ter utilizado o reflector amarelo.

Na versão pessimista verificou-se que o *overburden* máximo da zona de estudo é de cerca de 1700 metros enquanto na versão optimista se verificou que o *overburden* máximo é de cerca de 2150 metros. Com base nestes valores e na localização dos mesmos, foram seleccionadas oito áreas depocêntricas para serem posteriormente modeladas e interpretadas no *software* PetroMod.

## E. Geoquímica Orgânica

De todas as sondagens *IODP* realizadas na área de estudo, foi a sondagem *DSDP* 47-398 que demonstrou maior potencial gerador uma vez que foi nesta sondagem que foram observadas as “*black shales*” do Cretácico na unidade litológica 4B que se insere na unidade cronostratigráfica WB compreendida entre o Albiano e o Cenomaniano. Como foi já referido acima, a unidade WB foi observada nos *sites* *DSDP* 398 e *ODP* 897 e 899, sendo referente à *Breakup Sequence*, marcando um evento de *Drift* na área de estudo.

O termo “*black shale*” é utilizado neste trabalho para designar *mudstones* e *marlstones* relativamente ricas em carbono orgânico (Corg % wt > 0,5) e de cor escura (cinzento escuro, verde muito escuro e preto) que podem ou não ser consideradas uma “*shale*” no seu sentido clássico. As sequências de “*black shales*” raramente consistem em litologias completamente escuras, apresentando muitas vezes intercalações rítmicas com argilas, margas ou calcários de cores mais claras.

Apesar de as elevadas taxas de sedimentação e diluição terrígena dificultar a análise destas unidades no furo 398, foi proposto que estas se depositaram abaixo da *CCD*, em ambiente de muito reduzida oxigenação, ocasionalmente anóxico, sendo a sua matéria orgânica de origem maioritariamente terrígena (plantas superiores) embora com alguma contribuição de depósitos de carvão ou de *black shales* erodidos e também com contribuição marinha após o Cenomaniano. A grande quantidade de matéria orgânica terrígena presente nos sedimentos desde o Hauteriviano ao Albiano deve-se muito provavelmente ao *input* sedimentar de grandes deltas presentes em ambas as margens do Atlântico durante o Cretácico Inferior (von Rad & Einsele, 1980 ).

---

Segundo Wilson (1975), os seguintes factores levaram muito provavelmente ao desenvolvimento de uma fácies de “*black shales*” na zona Norte do Atlântico: uma tectónica restrita, uma latitude elevada onde a precipitação era superior à evaporação e soerguimento de uma *hinterland*, assim como o desenvolvimento de uma costa com grandes faixas de vegetação que levaram a que houvesse um grande transporte de detritos terrígenos de plantas superiores para as bacias.

Já nos *reports DSDP*, quer da *leg 48* quer da *leg 47B*, foi considerado prematuro basear o estudo apenas numa região e foi proposto que o clima global e o nível do mar foram os grandes mecanismos controladores do desenvolvimento das “*black shales*”, tendo-se manifestado de diferentes modos nas várias bacias oceânicas. As mudanças globais do clima podem ter sido influenciadas pelas variações do nível de CO<sub>2</sub> atmosférico e pela extensão geológica das bacias e plataformas oceânicas. Observaram-se padrões de fácies de *black shales* semelhantes em todas as bacias do Atlântico Norte que mostram três diferentes etapas de desenvolvimento:

- a. Intercalações de *mudstones* escuras, laminadas e ricas em carbono orgânico ocasionalmente acompanhadas de areias finas, siltes de cor clara e calcários pelágicos bioturbados típicos do Valanginiano - Hauteriviano e Barremiano. A deposição destes calcários cessou na maioria dos *sites* à medida que estes subsidiram para debaixo do CCD, cujo nível subiu abruptamente no Barremiano (Tucholke & Vogt, 1979);
- b. Desenvolvimento das fácies típicas de “*black shales*” do Barremiano ao Albiano médio, com forte assinatura terrígena, incluindo areias, siltes e plantas superiores das quais derivou a matéria orgânica. Ocorreram variações na taxa de sedimentação, na quantidade de detritos terrígenos e no rácio terrígena : marinha relativo à proveniência da matéria orgânica que está directamente relacionado com a paleobatimetria e com a proximidade dos influxos deltaicos. As condições anóxicas ou próximas disso da coluna de água ocorreram durante este período na maior parte do Atlântico Norte;
- c. Do topo do Albiano ao Cenomaniano observam-se “*black shales*” pelágicas ou argilas de diferentes tonalidades cuja origem orgânica provém de ambientes marinhos, estando essa matéria orgânica preservada em camadas de *mudstones* negras e areias ricas em radiolários. Isto demonstra uma grande mudança nos nutrientes e no aumento da produtividade da superfície marinha em grande parte do Atlântico Norte acompanhada de uma diminuição do *input* terrígeno. No entanto, o período anóxico manteve-se nas águas profundas.



O estudo de histogramas multimodais da Reflectância da Vitrinite permitiu demonstrar que grande parte da matéria orgânica presente nas amostras das “black shales” se trata de material redepositado (Hagemann, 1974). Esta teoria é confirmada pela intensidade anormalmente baixa e pela fluorescência avermelhada exibida em alguns esporos e partículas de leptinite. Esta matéria orgânica deve ter sido erodida de sedimentos ricos em carbono ou de carvões que atingiram níveis de reflectâncias dos 0,8 aos 1,4 % e que foram soerguidos antes do Cretácico Inferior (Conford, 1979).

Um dos problemas na interpretação da reflectância da vitrinite deve-se à presença de Vitrinite oxidada ou retrabalhada a partir de sedimentos mais antigos com uma história termal anterior (Hood & Castaño, 1974) pois estas partículas possuem valores de reflectância superiores às vitrinites primárias. Assim, Kendrick *et al.*, (1979) verificaram que a reflectância total da vitrinite no *site* 398 varia entre os 0,16 e os 0,85 Ro% enquanto a reflectância da vitrinite primária varia entre os 0,17 e os 0,48 Ro%.

A capacidade de os sedimentos do Cretácico Inferior produzirem hidrocarbonetos em quantidade significativa pode ser razoável devido à presença de várias amostras que contêm matéria orgânica leptinitica apreciável (20 a 40%). No entanto, grande parte da Leptinite é redepositada, mostrando fluorescências alaranjadas anormalmente baixas. O potencial gerador das Leptinites redepositada é desconhecido mas provavelmente baixo pelo que a secção Cretácica Inferior pode apenas ser classificada como uma rocha geradora de potencial razoável (Cornford, 1979).

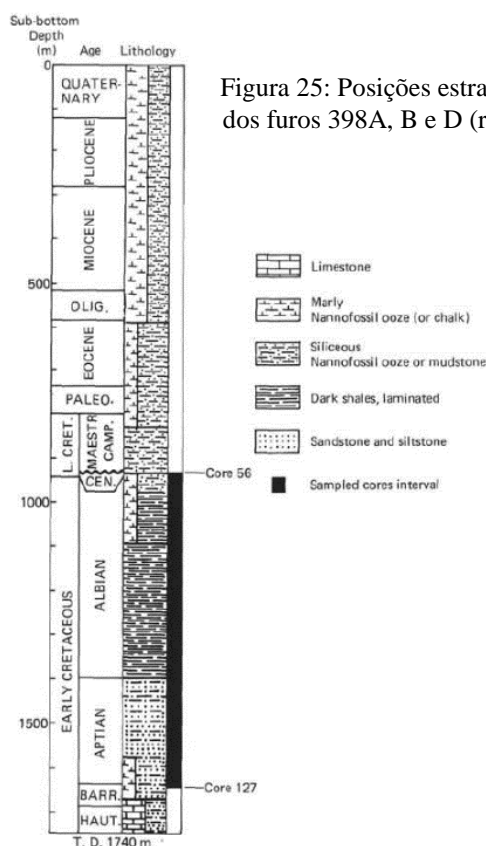


Figura 25: Posições estratigráficas dos cores recolhidos dos furos 398A, B e D (retirado de Deroo *et al.*, 1979).

---

Deroo *et al.*, (1979) estudaram as variações de carbono orgânico do Aptiano ao Cenomaniano correspondentes aos resultados obtidos na sondagem *DSDP* 398. Da base para o topo, os *cores* do Aptiano (127 ao 119 e 116) correspondem ao intervalo mais rico em matéria orgânica (1,03 a 1,80 wt.%). O conteúdo orgânico é reduzido (0,31 a 0,87 wt.%) nos *cores* do Aptiano (118 ao 104 e 102), aumentando novamente (0,93 a 1,57 % wt.) nos *cores* do Albiano (103 e 101 a 95). Os valores voltam a ser um pouco baixos (0,53 a 1,12 % wt.) no topo do Albiano (*cores* 93 a 82), sendo ainda mais baixos (0,28 a 0,83 % wt.) nos *cores* 80 a 60. A transição Albiano-Cenomaniano (*cores* 60 a 56) é relativamente rica em carbonatos, apresentando o menor conteúdo em matéria orgânica de todos os intervalos (0,24 a 0,44 % wt.) apesar da secção 56-1 do Senoniano apresentar o maior conteúdo orgânico de toda a secção.

Deroo *et al.*, (1979) definiram então os tipos de querógeno através da pirólise previamente realizada baseando-se nos três tipos de querógeno definidos por Tissot *et al.*, (1974). As amostras da secção 56-1 (Senoniano) estão próximas das zona do querógeno tipo II, no qual a matéria orgânica deriva maioritariamente de material planctónico marinho. A secção 59-3 (Albiano) localiza-se entre as zonas do querógeno tipo II e III e sugere uma mistura de material terrestre e marinho. Todas as outras amostras sugerem um querógeno do tipo III, no qual a matéria orgânica deriva de material continental. Para além disso, estes possuem um índice de hidrogénio muito reduzido, remetendo para um estágio avançado de alteração devido a retrabalhamento e/ou oxidação.

Com base nos valores de carbono orgânico e nos índices de hidrogénio, Deroo *et al.*, (1979) dividiram as *shales* cretácicas em quatro intervalos distintos:

1. *Cores* 127 a 116 (Aptiano inicial a tardio):
  - Valores médios de 1% wt. de carbono orgânico;
  - Séries clásticas ricas em fragmentos de plantas superiores que derivam principalmente de material detrítico ou redepositado, tratando-se de um querógeno do tipo III;
  - Fácies palinológica exínitica.
2. *Cores* 118 a 102 (Aptiano tardio):
  - Valores de carbono orgânico inferiores a 0,5% wt.;
  - Detritos de plantas superiores abundantes e presença de algum material hemipelágico, tratando-se ainda assim de um querógeno de tipo III;
  - Matéria orgânica alterada, provavelmente por oxidação anterior à deposição, como se observa pelo índice de hidrogénio muito reduzido;
  - Fácies palinológica micrinitica.

---

3. *Cores 103 a 80 (Albiano inicial a médio):*

- Valores médios de 1% wt. de carbono orgânico;
- *Dark to black shales* ricas em detritos de plantas superiores e presença de algum material hemipelágico, mantendo-se um querógeno do tipo III.

4. *Cores 79 à secção 56-4 (Albiano médio ao Cenomaniano médio)*

- Valores de carbono orgânico inferiores a 0,5% wt.;
- Reduzindo conteúdo em detritos de plantas superiores e elevado conteúdo em carbonatos, tratando-se de um querógeno tipo III com alguma contribuição de material marinho do tipo II;
- Fácies palinológica xenomórfica.

Doerenkamp & Robert (1979), realizaram um estudo óptico da matéria orgânica presente em 25 amostras de idade Cretácica recolhidas da sondagem 398D e chegaram à conclusão de que a maturação termal actual é reduzida, correspondendo a uma reflectância média de cerca de 0,5 % embora este valor possa ser considerado relativamente alto quando comparado com os gradientes de temperatura médios para tais profundidades.

Kendrick *et al.*, (1979) consideram que um sedimento deve ter um *Ceff* de 0,26% ou uma fluorescência da pirólise de 10 antes de poderem ser consideradas como potenciais rochas geradoras de petróleo. Nas medições da pirólise para o *site* 398 só uma amostra de idade Aptiana possui um *Ceff* superior a 0,26% pelo que estas unidades ainda não devem ser consideradas potenciais rochas geradoras de petróleo.

A temperatura do pico da pirólise corresponde à zona de óleo imaturo entre os 400 e os 440 °C, à zona do óleo maturado entre os 440 e os 460°C e à zona do gás para lá dos 460 °C. Quase todas as temperaturas observadas se situaram entre os 417 e os 437 °C, havendo apenas uma amostra que atingiu os 444°C. Estes valores remetem para um estágio evolutivo imaturo, tal como noutros sites DSDP observados em material Cretácico presente no Oceano Atlântico (Deroo *et al.*, 1979).

Após o estudo e a consulta dos artigos relativos à geoquímica orgânicas das unidades Cretácicas presentes no *site* 398 e dos *reports* estratigráficos foi definido que seriam consideradas “*black shales*” com algum potencial gerador as definidas na unidade litológica 4B (unidade cronostatigráfica WB), que vão do Albiano inferior ao médio, desde o *core* 103 ao 80.

Tabela 8: Propriedades relativas à geoquímica orgânica das "black shales" do Albiano.

Propriedades	"Black Shales"
Idade	Albiano inferior e médio (Unidade WB)
Cores	103 ao 80
Equivalente <i>onshore</i> e <i>shallow-offshore</i>	Formação de Torres Vedras e Almargem
Ambiente sedimentar	Águas profundas
TOC médio	0,99
TOC máximo	1,57
OI médio	123
OI máximo	208
HI médio	17
HI máximo	38
Rácio O/C médio	0,23
Rácio H/C médio	0,66
Índice de Fluorescência da Pirólise	Baixo (Ceff/Corg = 0,02 a 0,04)
TAI	2,3 a 2,8
Tipo de Querógeno	Tipo III
Análise maceral	Predominância de Leptinites (75%)
Proveniência	Plantas terrestres do Cretácico Inferior
Reflectância da Vitrinite	0,17 a 0,77%
Tmax da Pirólise	441°C (Maturidade térmica reduzida)

Parte destes dados de geoquímica orgânica foram utilizados na modelação de áreas depocêntricas com potencial petrolífero aparente, utilizando-se o *software* PetroMod 9.0 da Schlumberger IES. Como já referi, estes dados foram recolhidos através da análise dos relatórios da sondagem DSDP 47-398 (1979). Os dados utilizados foram a litologia e respectiva espessura, o TOC (% wt.) e o HI (mgHC/gTOC). Estes valores foram todos recolhidos da sondagem 398 pois foi a única onde foram encontradas "black shales" pelo que se assumiu que estes valores geoquímicos são válidos para toda a zona de estudo. A metodologia e os resultados desta análise serão abordados mais à frente neste trabalho.

---

## F. Modelação térmica

Os exercícios de modelação térmica têm como objectivo avaliar o grau de maturação das “*black shales*” do Albiano presentes na área de estudo, podendo ou não fornecer ainda informação relativa ao seu *timing* de maturação e taxa de transformação.

Estes modelos tiveram em conta as três fases de rifte consideradas e, para estas, foi necessária a definição de *inputs* necessários à criação de um modelo número para cada episódio de rifte. Esses *inputs* foram recolhidos dos trabalhos realizados por Cunha (2008) e Jeanniot *et al.*, (2016).

A modelação foi realizada de uma forma simples e básica através do *software* PetroMod (v9 SP2 32-bit), desenvolvido pela *Integrated Exploration Systems* (IES/Schlumberger). As funcionalidades disponibilizadas por este *software* baseiam-se nos princípios de Hantschal & Kauerauf (2009) e podem ser consultados nesse mesmo artigo. A modelação dos poços presentes na área de estudo foi realizada com a ferramenta 1D de modelação.

Com base nos mapas de isócronas e na localização das diferentes áreas depocêntricas, foram seleccionadas oito sub-bacias nas quais se irá modelar e interpretar um pseudo-poço em cada uma delas. Estes pseudo-poços localizam-se então nos locais de *overburden* máximo a que as “*black shales*” do Albiano estão sujeitas em cada uma destas áreas depocêntricas.

### i. Dados sismo-estratigráficos

Para iniciar a modelação de áreas depocêntricas no *software* PetroMod devemos começar por inserir os dados de entrada, sendo estes de diferentes tipos. Como tal, devemos começar por colocar os dados estratigráficos que dizem respeito ao topo e à base de cada unidade estratigráfica ou sismo-estratigráfica e respectiva espessura. Caso existam dados relativos à erosão a que estes foram sujeitos, o que não é o caso, devemos também inserir a espessura de material erodido e o intervalo cronológico dessa erosão. Temos ainda que colocar o intervalo cronológico de deposição e a litologia aproximada/genérica de cada unidade. Como exemplo destes *inputs* estratigráficos apresenta-se de seguida o exemplo da tabela de entrada no poço 47-398. Nesta sondagem considerou-se a sequência litostratigráfica recolhida dos *IODP reports*.

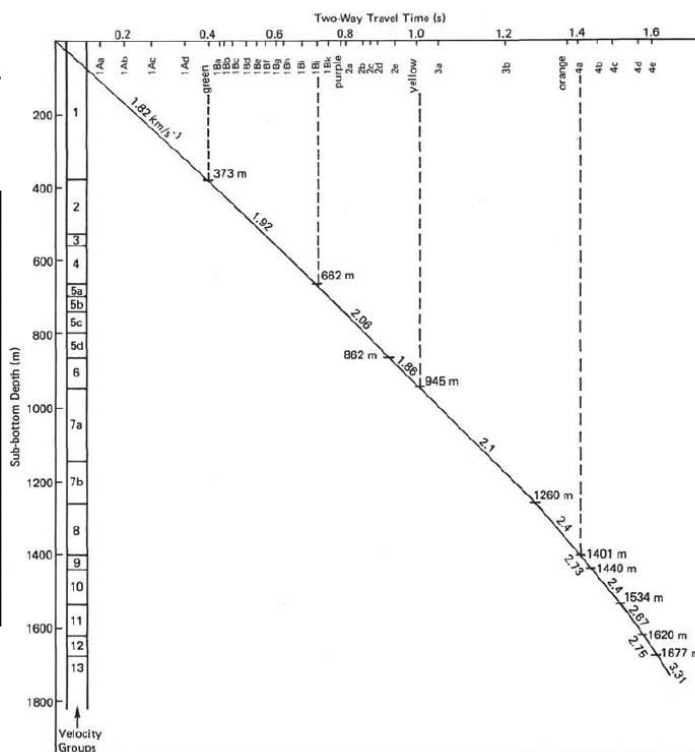
Tabela 9: Quadro com os *inputs* estratigráficos do poço 47-398 (Unit 4B - Intervalo gerador do Albiano).

<i>Well DSDP 47-398</i>				<i>Deposition age</i>		
<i>Name</i>	<i>Top (m)</i>	<i>Bottom (m)</i>	<i>Present thickness (m)</i>	<i>From (Ma)</i>	<i>To (Ma)</i>	<i>Lithology</i>
Unit 1A	3910.00	4236.00	326.00	12.00	0.00	CHALK
Unit 1B	4236.00	4334.00	98.00	16.00	12.00	CHALK
Unit 1C	4334.00	4504.00	170.00	28.00	16.00	SILT sandy
Unit 2	4504.00	4684.00	180.00	62.00	28.00	LIME shaly
Unit 3A	4684.00	4790.00	106.00	84.00	62.00	CHALK
Unit 3B	4790.00	4857.00	67.00	97.00	84.00	SHALE silt
Unit 4A	4857.00	5093.00	236.00	107.00	97.00	CHALK
Unit 4B	5093.00	5311.00	218.00	113.00	107.00	SHALE
Unit 4C	5311.00	5577.00	266.00	127.00	113.00	SHALE
Unit 5	5577.00	5650.00	73.00	131.00	127.00	SHALE

No entanto, apenas a sondagem *DSDP* 47-398 possui informação acerca da real estratigrafia perfurada. As restantes sondagens tratam-se de pseudo-sondagens das quais podemos recolher dados sismo-estratigráficos referentes aos seus horizontes sísmicos previamente interpretados na sísmica. Uma vez que estes se encontram em tempo foi necessária realizar uma nova conversão de unidades, desta vez de tempo (s) para profundidade (m), que teve como base um perfil de velocidade/profundidade dos horizontes sísmicos observados no perfil sísmico GP-19.

Tabela 10: Tabela de velocidades final adaptada para os horizontes sísmicos interpretados neste trabalho.

Horizontes	Velocidade (s)
SB	
	0,91
Horizonte 1 (Verde)	
	0,96
Horizonte 2 (Roxo)	
	1,005
Horizonte 3 (Amarelo)	
	1,1
Horizonte 4 (Laranja)	
	1,25
Horizonte 5 (Azul claro)	
	2,5
Sal	
	1,386
Basement	



## ii. Dados de geoquímica orgânica

Existem ainda outros dados de entrada, desta vez relativos apenas aos intervalos com potencial gerador, onde nos pedem *inputs* de propriedades geoquímicas como o *TOC* (Carbono Total Orgânico), o *HI* (Índice de Hidrogénio) e a cinética do querógeno.

Os parâmetros de *TOC* e *HI* que caracterizam este nível gerador foram analisados através da interpretação de dados de geoquímica orgânica, tendo sido determinados através do cálculo da média de valores.

O teor em Carbono Orgânico Total (*TOC*) de um determinado sedimento é expressivo através do peso percentual (wt %). Este parâmetro é um indicador da quantidade de matéria orgânica presente num sedimento (Ronov, 1958) e demonstra o potencial gerador de hidrocarbonetos. Já o Índice de Hidrogénio (*HI*) permite estabelecer correlações com os principais compostos no pico de maturação e indicar a quantidade de hidrocarbonetos que uma rocha geradora pode gerar ao longo do processo de maturação térmica.

Tabela 11: Relação entre os valores de *TOC* e *HI* relativamente ao potencial gerador de hidrocarbonetos e aos principais compostos gerados no pico de maturação, respectivamente (adaptado de Peters & Cassa, 1994).

Potencial	TOC (wt. %)	HI (mgHC/gTOC)	Principais compostos gerados no pico de maturação
Fraco	0 – 0,5	< 50	Nenhum
Razoável	0,5 – 1	50 – 200	Gás
Bom	1 – 2	200 – 300	Mistura de Óleo e Gás
Muito bom	2 – 4	300 – 600	Óleo
Excelente	>4	>600	Óleo

O parâmetro relativo à cinética do Querógeno foi abordado em vários trabalhos, entre os quais Teixeira (2012), onde este aborda exercícios de modelação térmica em poços da Bacia Lusitânica. Este parâmetro consiste em modelos cinéticos, baseados nos diferentes tipos de fácies orgânicas, determinados consoante o ambiente deposicional e a litofácies das rochas geradoras, sendo normalmente utilizados quando a incerteza em relação ao modelo a utilizar é elevada. Assim, tal como proposto por Tissot *et al.*, (1974), os autores definem a individualização do carbono orgânico em gerador de óleo (I), gerador de óleo e gás (II), gerador de gás (III) e inerte (IV). Para este parâmetro foi utilizada a cinética do tipo III (gerador de gás).

Tabela 12: Quadro com os *inputs* geoquímicos da sondagem *DSDP* 47-398 (Unit 4B) e das *pseudo-wells* (Unit 3b).

<b>Name</b>	<b>PetroSys Essential Elements</b>	<b>TOC (wt%)</b>	<b>Kinetics</b>	<b>HI (mg HC/g TOC)</b>
Unit 4B (DSDP 398) ou Unit 3b (PW)	Source Rock	0,99	Pepper&Corvi(1995)_TIIH(DE)	17

Podemos então afirmar que os valores de *TOC* fazem das “*black shales*” do Albiano uma possível rocha geradora de potencial razoável a bom, atingindo um *TOC* máximo de 1,56 wt%. Já os valores de *HI* fazem as “*black shales*” do Albiano mostram que esta, muito provavelmente, não deverá gerar qualquer composto visto terem um *HI* médio de 17 mgHC/gTOC atingindo um máximo de 38.

Segundo Magoon et al., (1994), ao longo da maturação térmica, os valores de *TOC* e *HI* tendem a ser consumidos, podendo-se considerar que o conteúdo em matéria orgânica original deverá ter sido maior do que actualmente se observa. Estes autores afirmam que, caso o querógeno seja do tipo II como acontece com as “*black shales*” estes podem sofrer uma redução de até 50% do seu conteúdo original. Este desvio pode levar-nos a considerar as “*black shales*” do Albiano como uma rocha de bom potencial pré-diagenético gerador de hidrocarbonetos se olharmos apenas para o seu *TOC*. Já os valores de *HI* não se deverão alterar muito, pelo que estas não deverão gerar qualquer composto no seu pico de maturação, podendo no máximo gerar alguns gás nas zonas onde se observaram medições de *HI* superiores a 34 mgHC/gTOC.

### iii. Condições fronteira

#### a. Paleobatimetria (PWD)

Depois da introdução destes *inputs* é necessário definir as condições-fronteira dos modelos em questão para que se possa recriar a evolução térmica e o histórico de subsidência e soerguimento da bacia. Os parâmetros necessários para que se possam definir as condições-fronteira são a paleobatimetria, a temperatura da interface água-sedimento e o fluxo de calor definido através das diferentes fases de rifte.

A paleobatimetria deve ser definida no *software* e a sua variação deverá ter algum efeito relativamente ao *timing* de maturação das “*black shales*”. A paleobatimetria foi definida através de uma curva paleobatimétrica presente nos relatórios da sondagem *DSDP* 47-398, tendo sido proporcionalmente recalculada para as restantes sondagens através da sua batimetria actual.



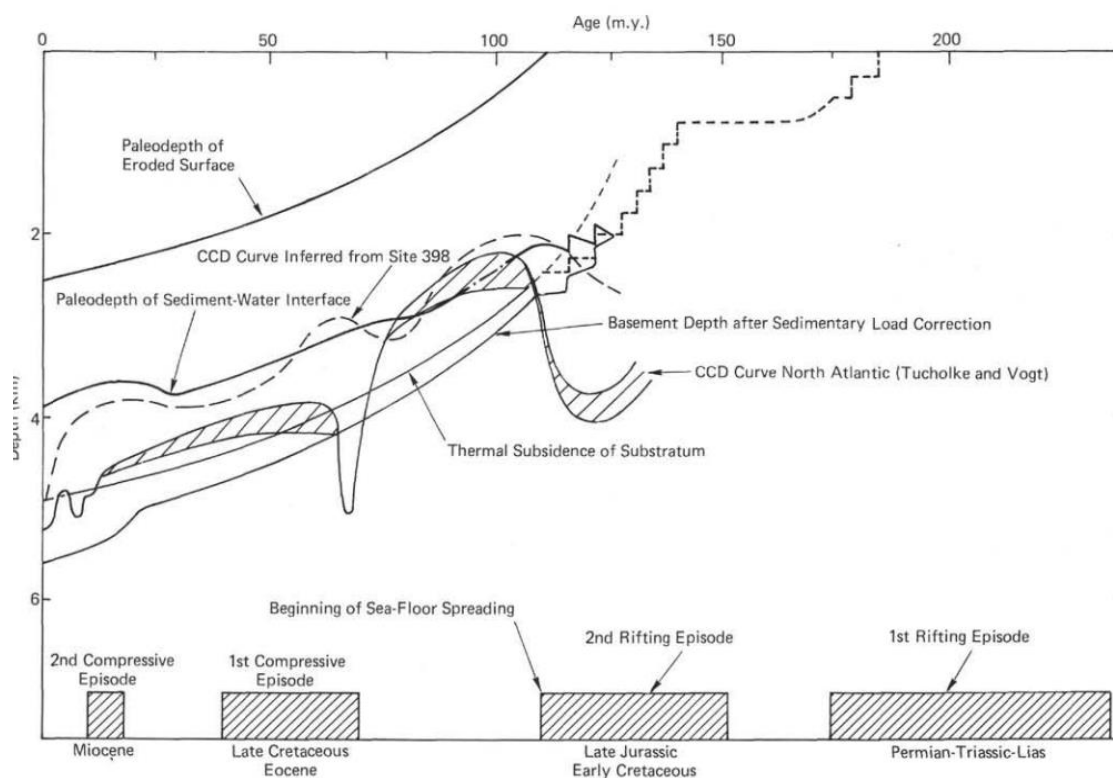


Figura 27: Curvas de subsidência teóricas para o *basement* no *site* 398 com correções de carga sedimentar assumindo *rifting* inicial no Hauteriviano( Sibuet & Ryan, 1979).

Tabela 13: Paleobatimetria de todos os poços e pseudo-poços modelados.

Age (Ma)	Water Depth (m)							
	PW-A	PW-B	W47-398	PW-C	PW-D	PW-E	PW-F	PW-G
0.00	4451	3572	3910	3008	2481	2203	2369	2857
15.00	4127	3312	3625	2789	2300	2042	2196	2649
30.00	4269	3426	3750	2885	2379	2113	2272	2740
75.00	3273	2626	2875	2212	1824	1620	1742	2101
80.00	3244	2604	2850	2193	1808	1606	1727	2082
100.00	2704	2170	2375	1827	1507	1338	1439	1735
110.00	2391	1918	2100	1616	1333	1183	1272	1534
115.00	2419	1941	2125	1635	1348	1197	1288	1553
116.00	2277	1827	2000	1539	1269	1127	1212	1461
121.00	2134	1713	1875	1442	1190	1056	1136	1370
125.00	2277	1827	2000	1539	1269	1127	1212	1461
140.00	1708	1370	1500	1154	952	845	909	1096
155.00	1138	914	1000	769	635	563	606	731
170.00	569	457	500	385	317	282	303	365
185.00	0	0	0	0	0	0	0	0

## b. Temperatura da Interface Água-Sedimento (SWIT)

A temperatura da Interface Água-Sedimento tem influência no fluxo de calor teórico ao longo da evolução de uma bacia. Esta pode ser automaticamente calculada no *software* através de uma base de dados de paleolatitudes (Wygrala, 1989), bastando apenas indicar o hemisfério, Norte neste caso, o continente (Europa) e a latitude (41°). É depois reproduzido um gráfico de variação de temperatura da interface água-sedimentar, tendo em conta a paleobatimetria anteriormente definida.

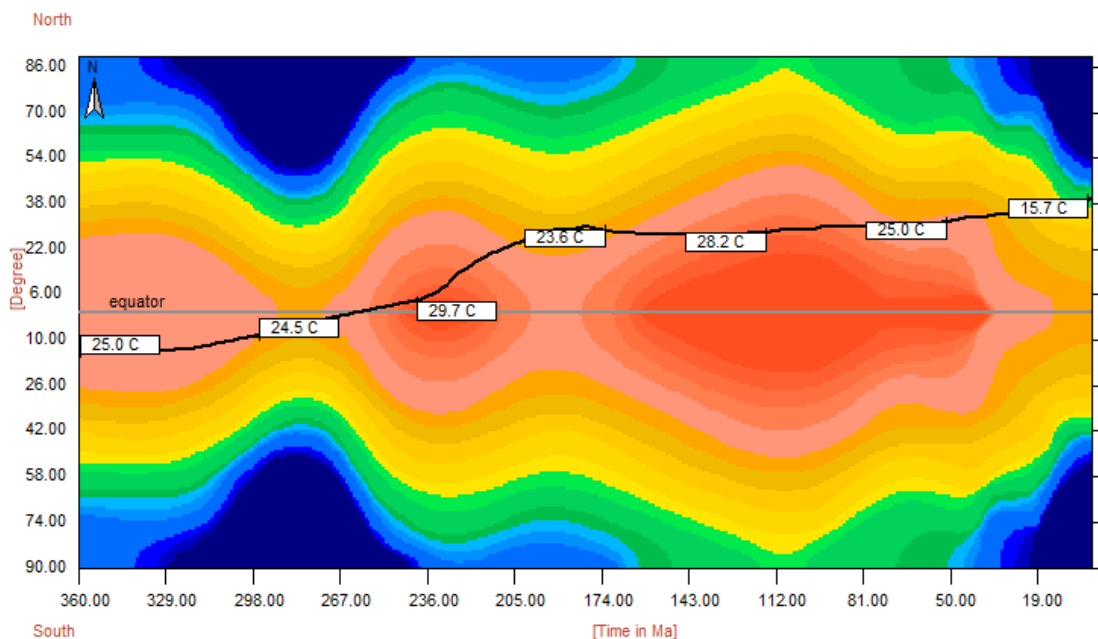


Figura 28: Variação de temperatura da interface água-sedimento (SWIT) baseada na paleobatimetria da sondagem 47-398.

## c. Fluxo de calor (HF)

O fluxo de calor (*HF*) baseia-se em modelos de estiramento crustal. No *software* existe uma ferramenta que adopta o modelo teórico de McKenzie, calculando o fluxo de calor durante o estiramento crustal a partir da atribuição de um valor de factor de estiramento ( $\beta$ ) crustal e mantélico ( $\gamma$ ), sendo esta uma evolução do modelo original de McKenzie, denominada por Baur *et al.*, (2010) como “abordagem avançada de McKenzie”.

Para a obtenção do fluxo de calor foram considerados três eventos de rifte, um no final do Triásico Superior, outro no Jurássico Superior e um último no Cretácico Inferior.

Os factores de estiramento utilizados neste trabalho basearam-se no artigo de Jeanniot *et al.*, (2016) e variam entre os 3,5 na zona mais distal e os 2 na zona mais proximal.

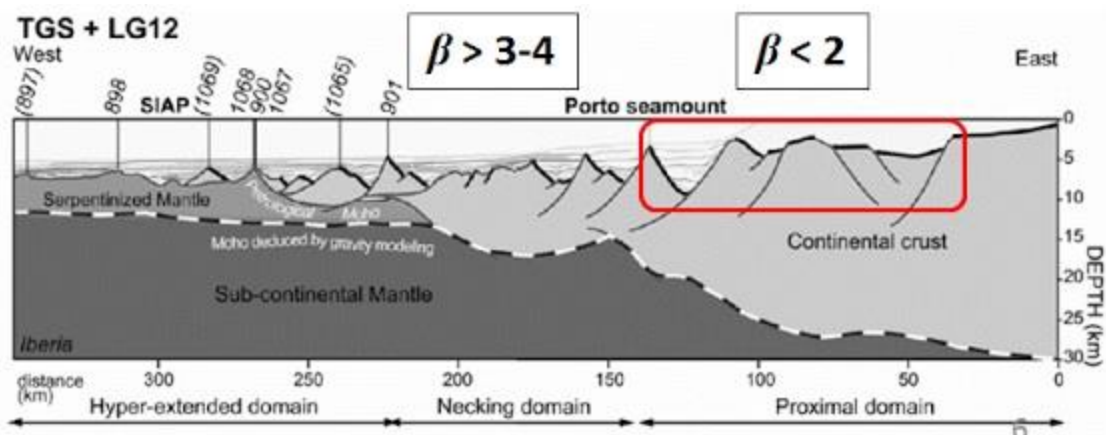


Figura 29: Diferentes factores de estiramento da área de estudo (retirado de Jeanniot *et al.*, 2016).

Foi então utilizado um factor de estiramento de 3,5 no *pseudo-well* A e na sondagem *DSDP* 47-398, um factor de estiramento de 3 nos *pseudo-wells* B e C, um factor de estiramento de 2,5 no *pseudo-well* D e um factor de estiramento de 2 nos *pseudo-wells* E, F e G.

Relativamente aos parâmetros crustais e mantélicos, estes foram obtidos através dos pressupostos de Cunha (2008):

Tabela 14: Parâmetros crustais e mantélicos (retirado de Cunha, 2008).

Parameter	Symbol	Value
Initial lithospheric thickness	L	125 km
Initial crustal thickness	$t_c$	28-31 km
Water density	$\rho_w$	1030 kg m <sup>-3</sup>
Average crustal density	$\rho_c$	2780 kg m <sup>-3</sup>
Mantle density (0°C)	$\rho_{0m}$	3330 kg cm <sup>-3</sup>
Mantle potential temperature	$T_m$	1333°C
Volumetric coefficient of thermal expansion	$\alpha$	3.1x10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>
Thermal diffusivity	k	8.0x10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
Mantle thermal conductivity	$K_m$	3.138 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Crustal thermal conductivity	$K_c$	2.700 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

Todos estes dados foram introduzidos no *software* PetroMod e permitiram o cálculo de um modelo teórico dos *heat flows* de cada sondagem. Este *software* reproduz um modelo onde existe apenas um pico de calor entre as idades consideradas, isto é, reproduz apenas uma fase de rifte em função do intervalo cronológico considerado. No entanto, visto que foram assumidas três fases de rifte para esta modelação, tiveram de ser manualmente introduzidos dois picos de calor não considerados inicialmente. Foram então reproduzidas três fases de rifte, a primeira entre os 216 (Noriano) e os 190 Ma (Pliensbachiano), a segunda entre os 163 (Oxfordiano) e os 153 Ma (Kimmeridgiano) e a terceira entre os 140 (Berriasiano) e os 130 Ma (Hauteriviano).

Tabela 15: Fluxos de calor de todas as sondagens sujeitas a modelação.

<i>PW A, DSDP 47-398</i>		<i>PW B e C</i>		<i>PW D</i>		<i>PW E, F e G</i>	
$\beta = 3,5$		$\beta = 3$		$\beta = 2,5$		$\beta = 2$	
0.00	42.74	0.00	43.38	0.00	43.38	0.00	43.38
20.00	42.74	20.00	43.38	20.00	43.38	20.00	43.38
31.00	44.63	31.00	45.27	31.00	45.27	31.00	45.27
42.00	46.91	42.00	47.57	42.00	47.57	42.00	47.57
53.00	49.68	53.00	50.37	53.00	50.36	53.00	50.37
64.00	53.09	64.00	53.82	64.00	53.82	64.00	53.82
75.00	57.37	75.00	58.16	75.00	58.16	75.00	58.16
86.00	62.90	86.00	63.79	86.00	63.78	86.00	63.79
97.00	70.41	97.00	71.43	97.00	71.43	97.00	71.44
108.00	81.37	108.00	82.61	108.00	82.61	108.00	82.63
119.00	99.29	119.00	100.96	119.00	100.95	119.00	101.00
130.00	126.85	130.00	127.23	130.00	124.97	130.00	123.64
131.00	112.10	131.00	112.86	131.00	111.02	131.00	110.01
132.00	98.32	132.00	99.29	132.00	97.84	132.00	96.71
139.70	94.66	139.70	95.00	139.70	93.00	139.70	92.00
153.00	126.85	153.00	127.23	153.00	124.97	153.00	123.64
154.00	112.10	154.00	112.10	154.00	109.00	154.00	109.00
155.00	98.32	155.00	98.32	155.00	95.00	155.00	95.00
156.00	85.91	156.00	85.91	156.00	86.00	156.00	82.00
157.00	74.97	157.00	74.97	157.00	75.00	157.00	72.00
160.80	66.31	160.80	67.50	160.80	69.00	160.80	68.00
178.40	82.68	173.00	80.86	173.00	82.13	173.00	82.15
196.00	118.17	190.00	111.07	190.00	112.35	190.00	111.97
198.00	107.83	192.60	103.05	192.60	104.53	192.60	104.14
200.00	96.83	195.20	93.99	195.20	95.62	195.20	95.17
202.00	85.75	197.80	84.31	197.80	85.93	197.80	85.61
204.00	75.22	200.40	74.59	200.40	76.13	200.40	75.82
206.00	65.67	203.00	65.36	203.00	66.87	203.00	66.49
208.00	57.25	205.60	57.03	205.60	58.35	205.60	58.16
210.00	49.90	208.20	49.74	208.20	50.94	208.20	50.67
212.00	43.46	210.80	43.34	210.80	44.39	210.80	44.28
214.00	37.87	213.40	37.79	213.40	38.76	213.40	38.62
216.00	33.06	216.00	33.06	216.00	34.01	216.00	34.01

---

# CAPÍTULO IV

---

## RESULTADOS

## A. Interpretação sísmo-estratigráfica

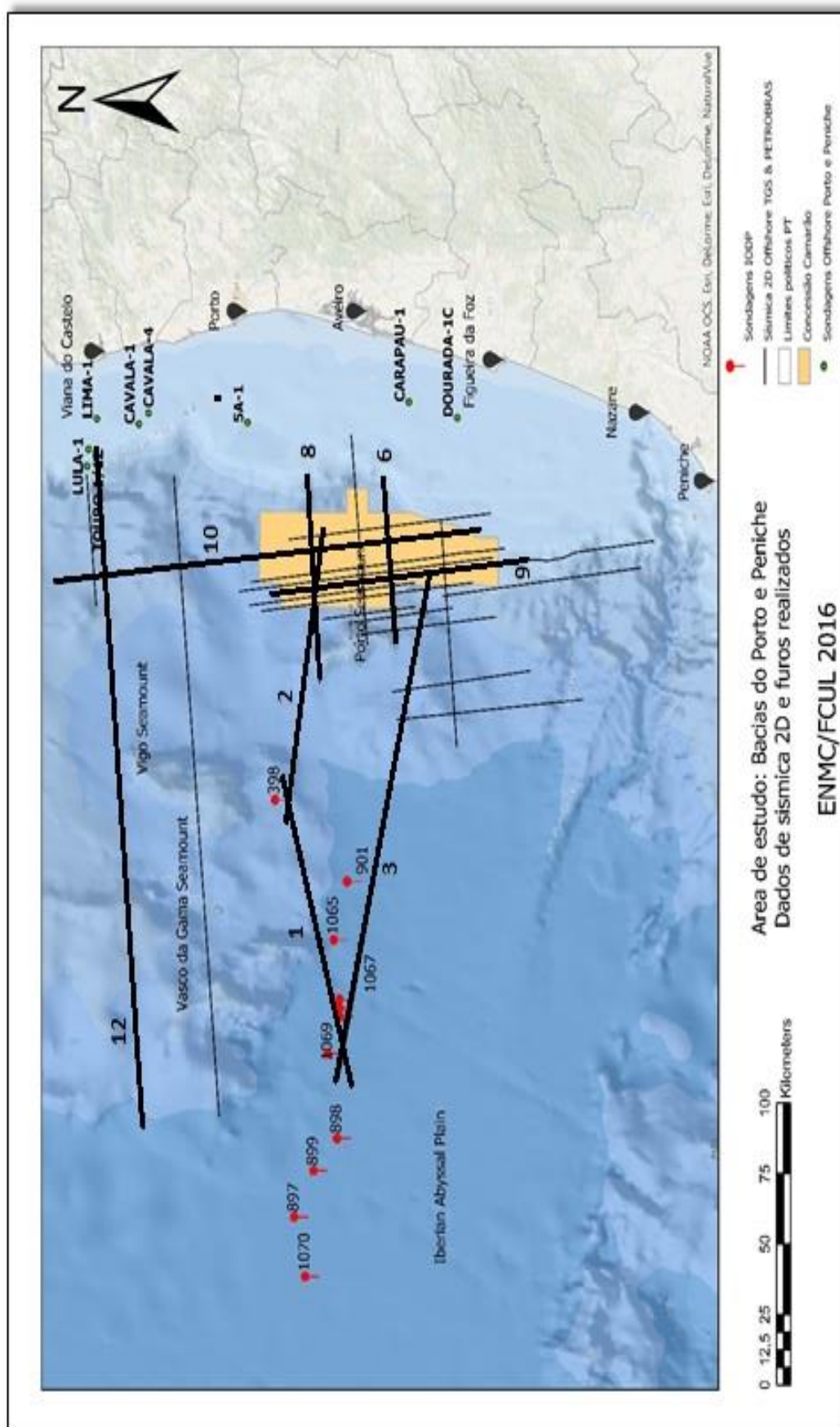


Figura 30: Localização das sondagens e linhas sísmicas analisadas neste estudo. Estão representadas as sondagens realizadas no *shallow-offshore* da Bacia do Porto, as sondagens *IODP* no *deep-offshore*, estando ainda destacadas as principais linhas sísmicas (1, 2, 3, 6, 8, 9, 10 e 12).



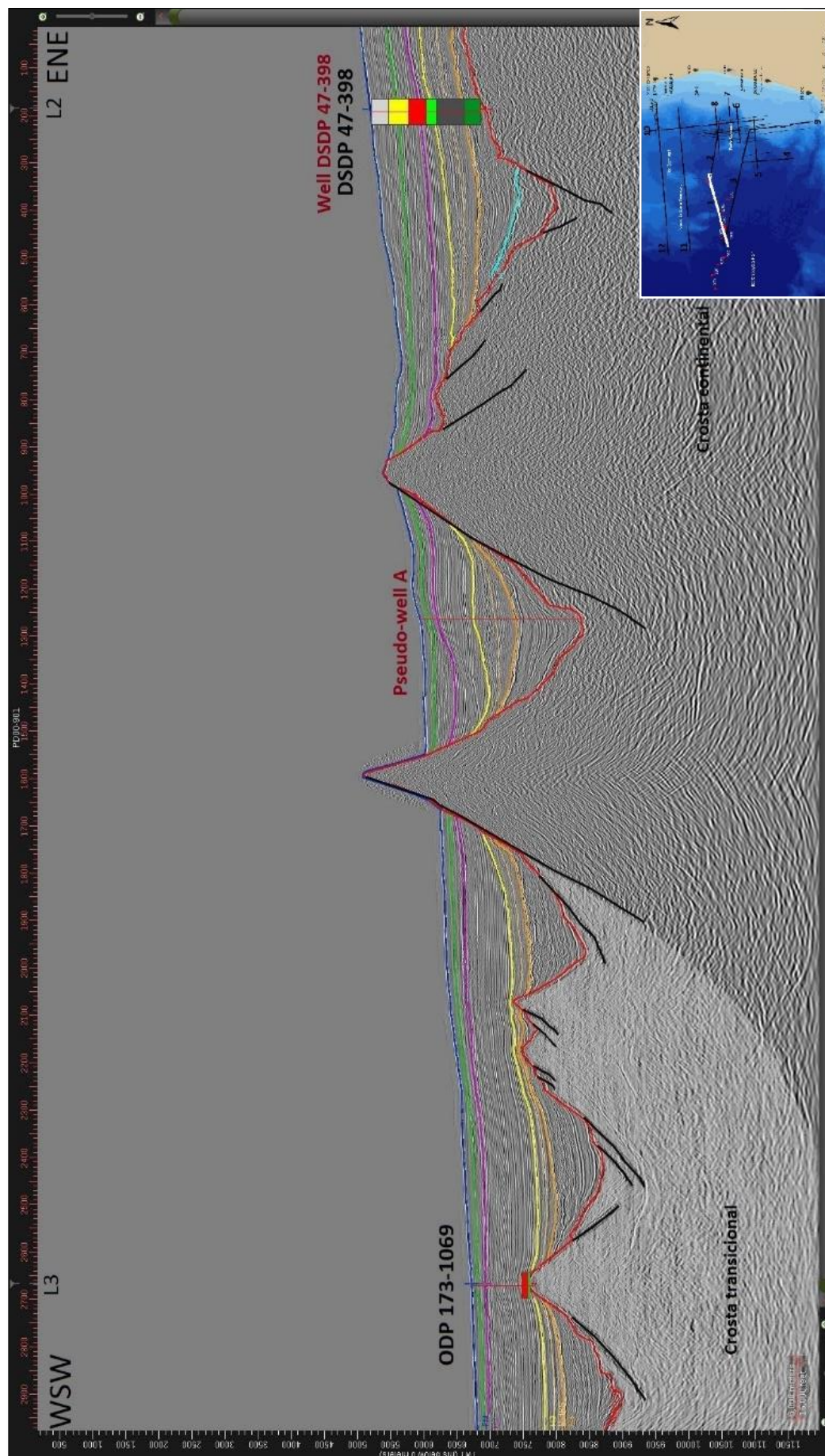


Figura 31: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 1.



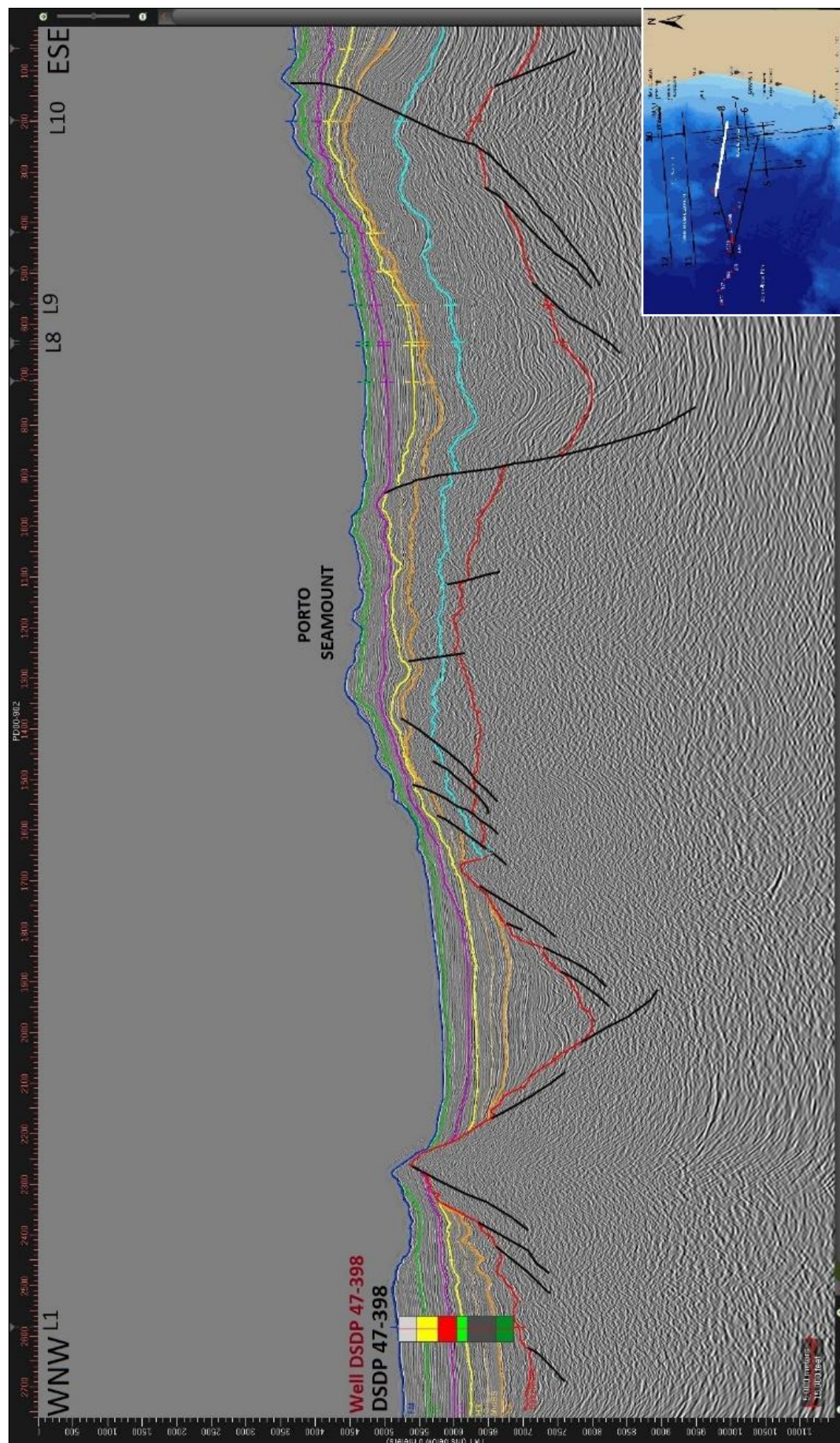


Figura 32: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 2.



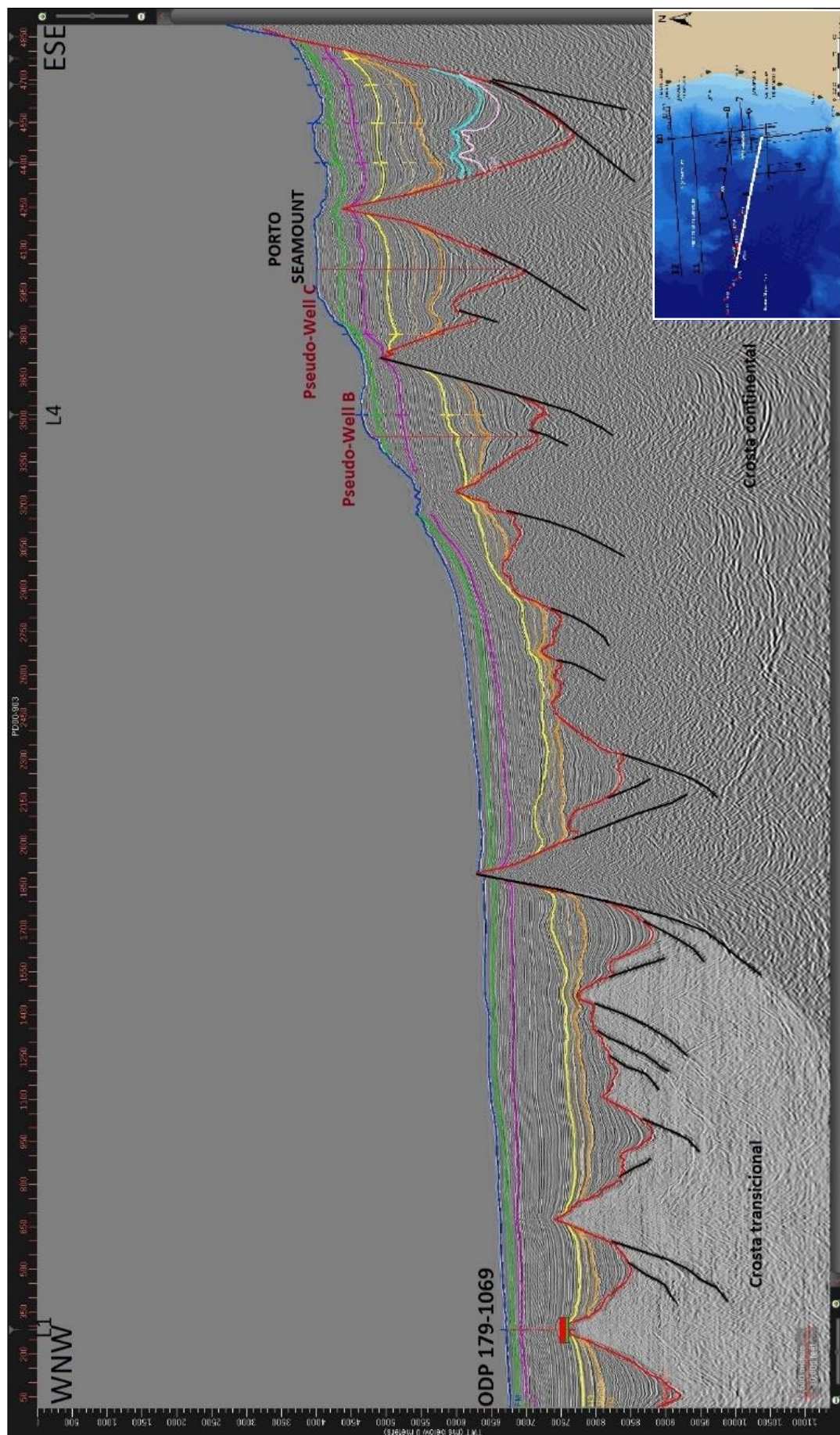


Figura 33: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 3.



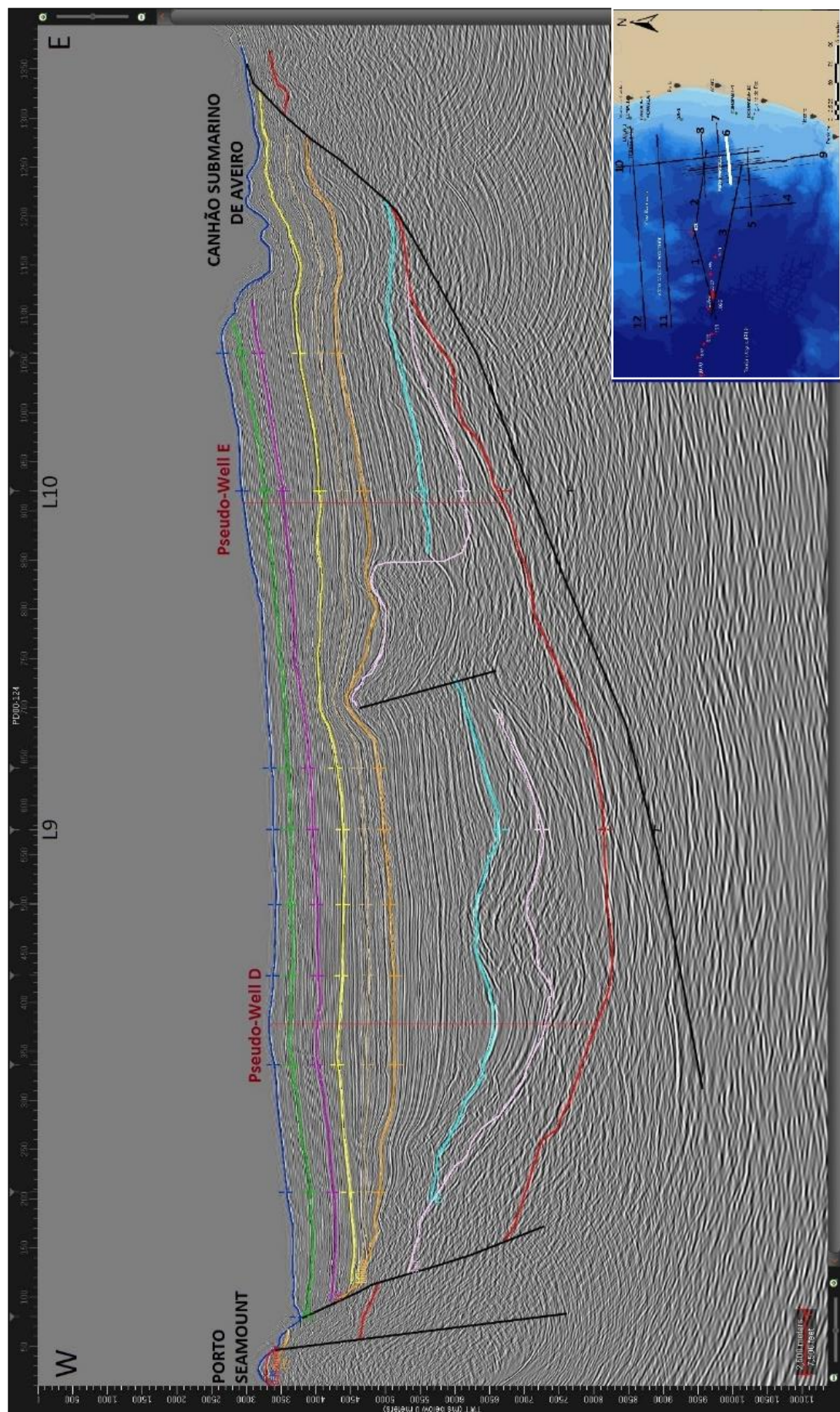


Figura 34: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 6.



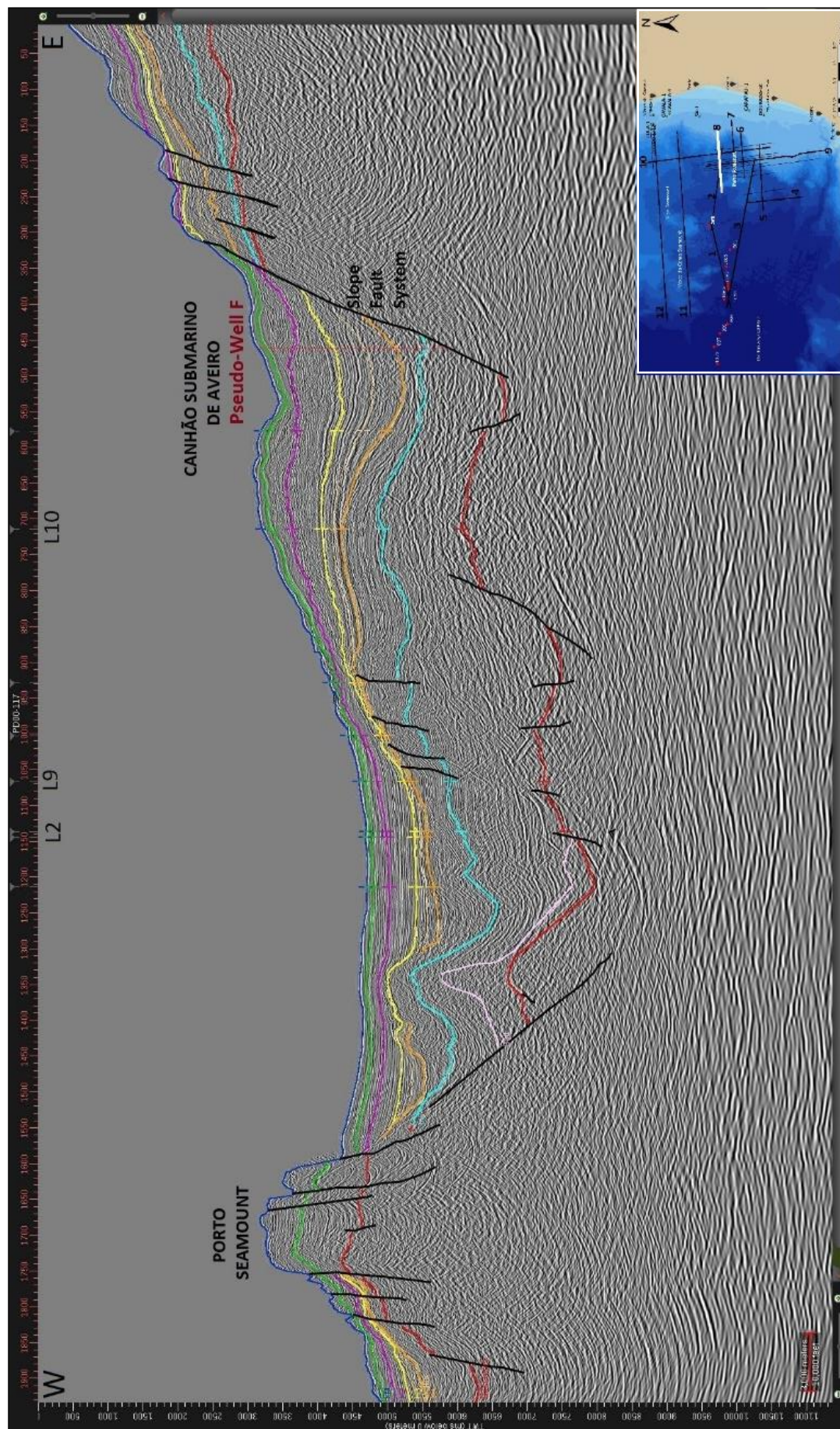


Figura 35: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 8.



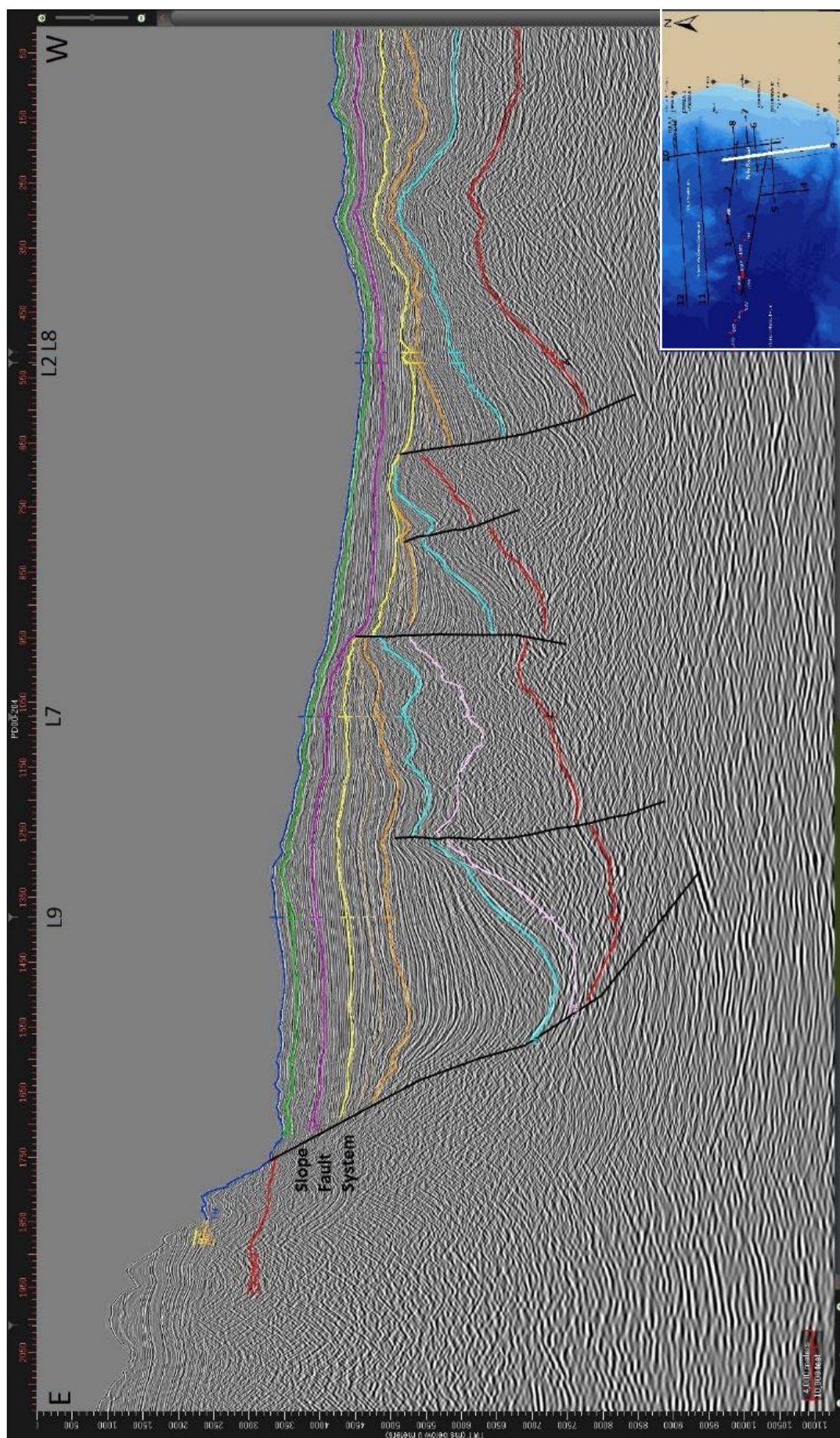


Figura 36: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 9.



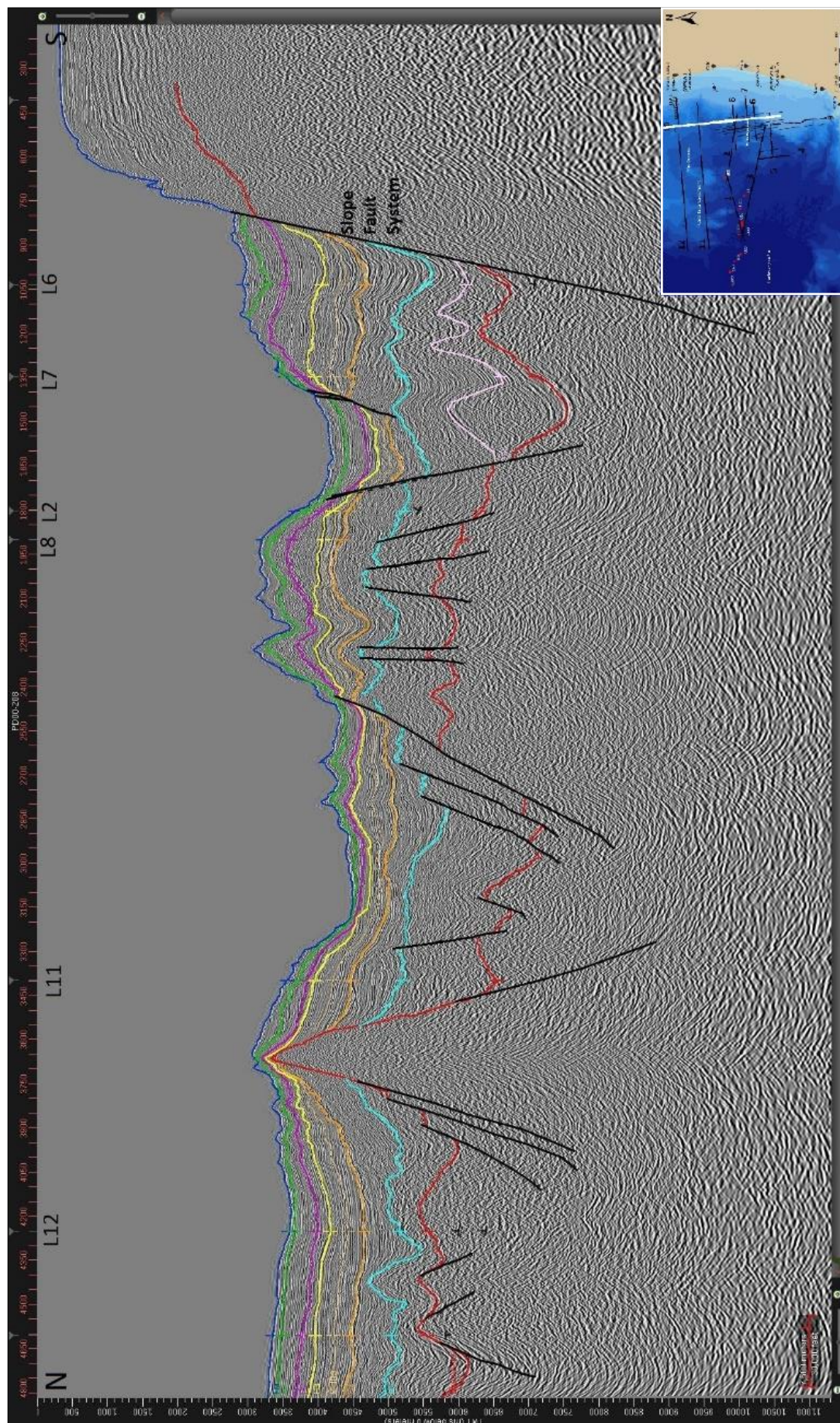


Figura 37: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 10.



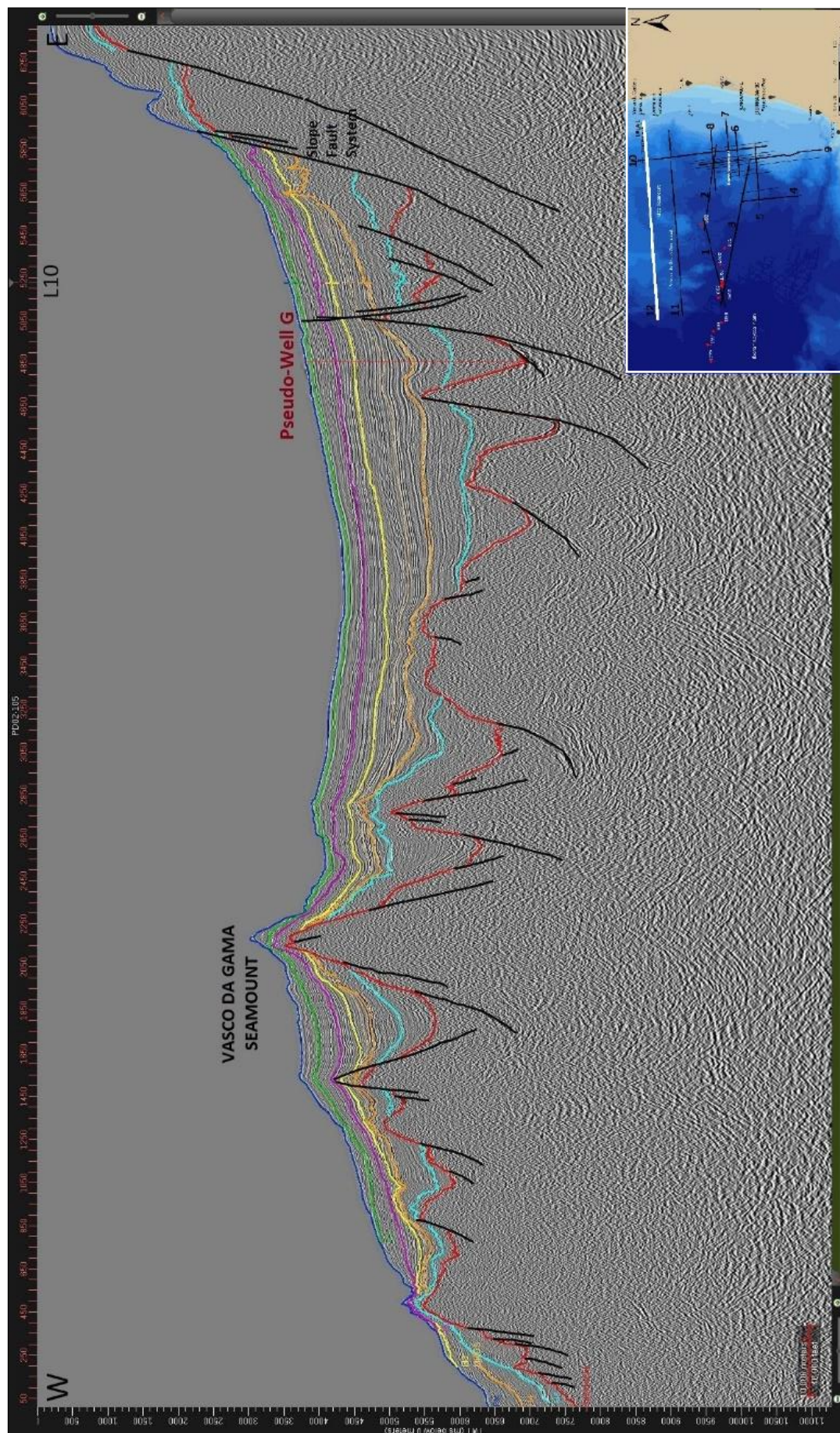


Figura 38: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 12.



## B. Modelação 3D

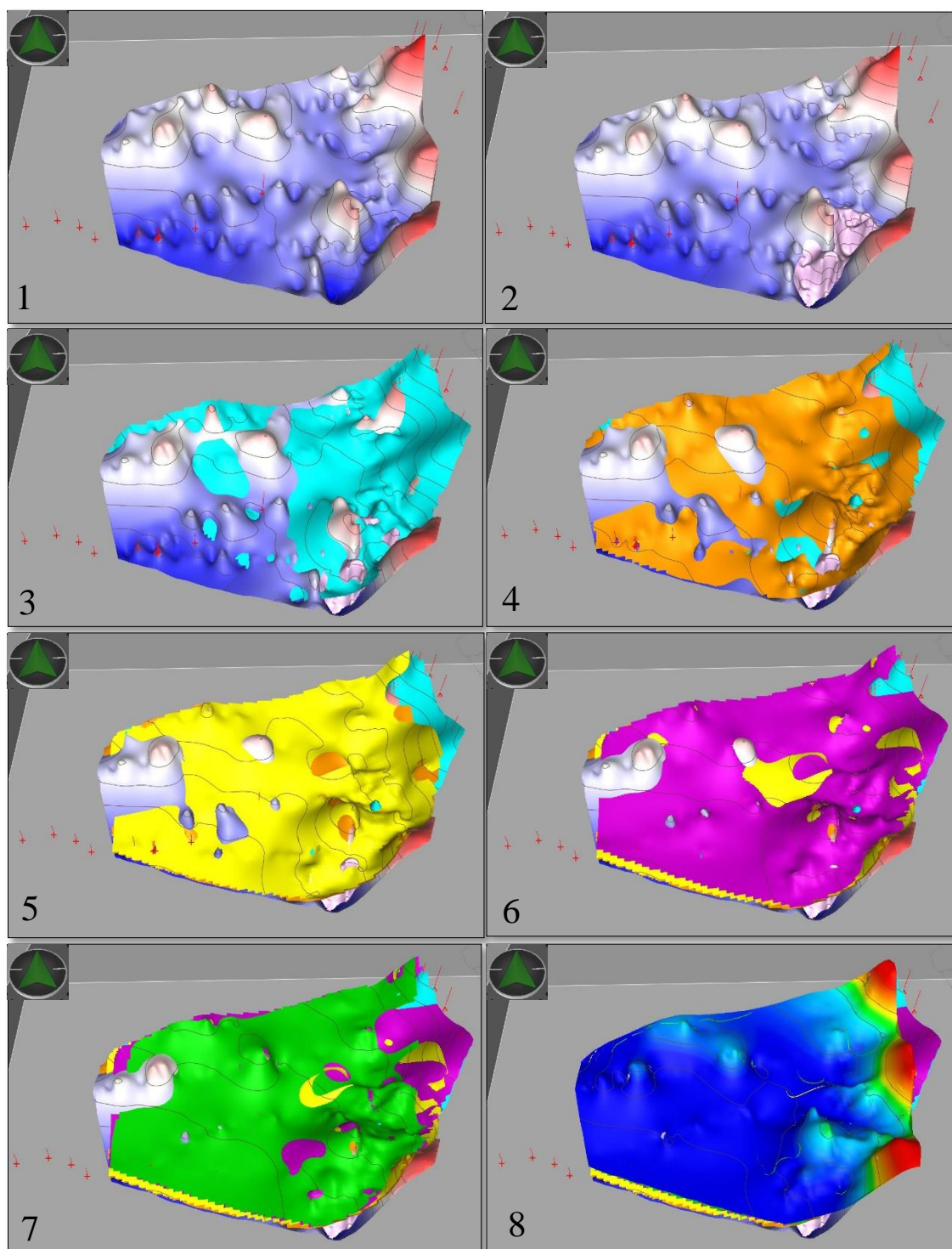


Figura 39: Modelações 3D do *basement* acústico (1), evaporitos (2), horizonte 5 (3), horizonte 4 (4), horizonte 3 (5), horizonte 2 (6), horizonte 1 (7) e fundo marinho (8).

## C. Mapas de isócronas

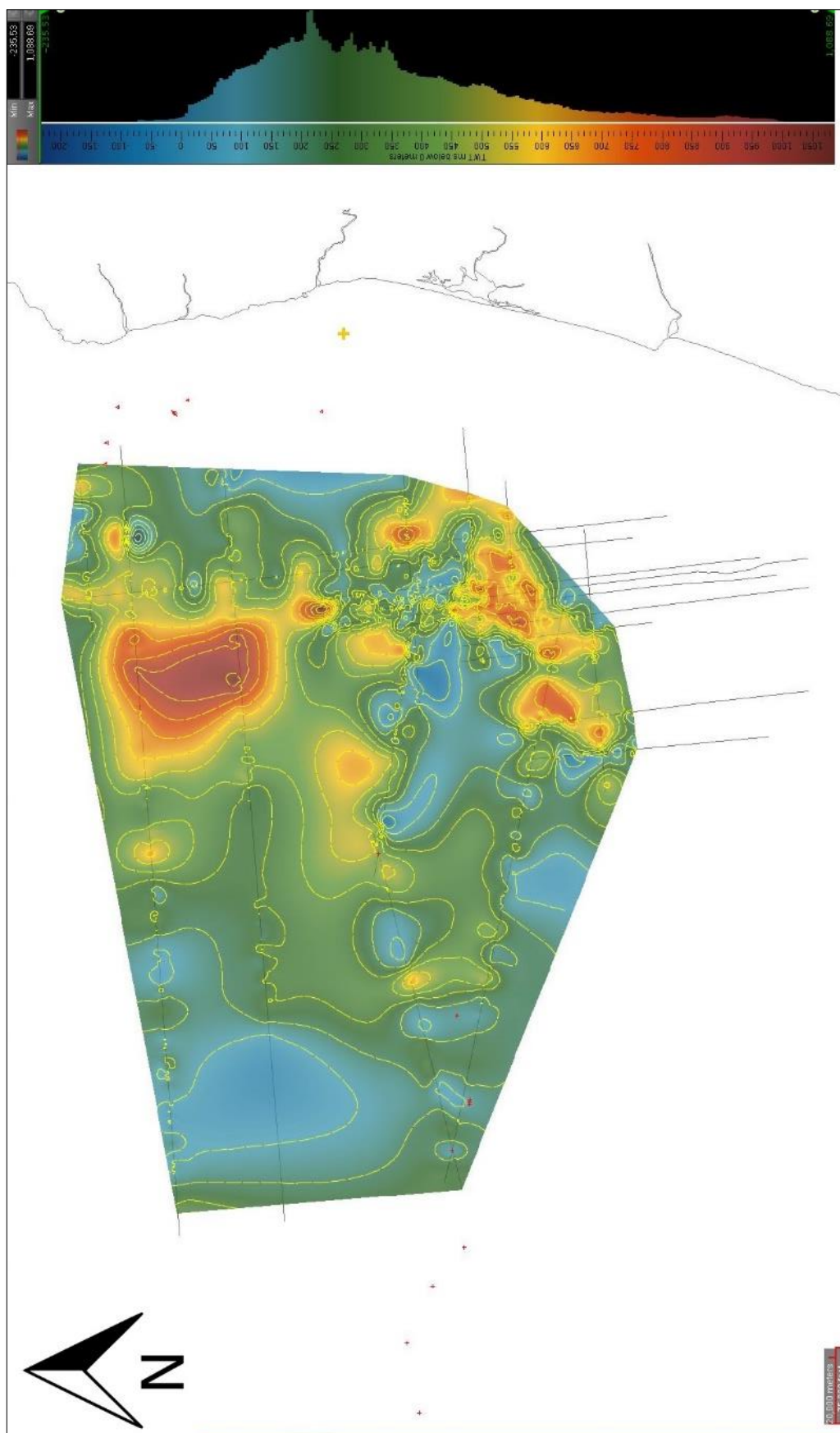


Figura 40: Mapa de isócronas correspondente à espessura aproximada das "black shales" do Albiano, obtida através da diferença entre o reflector laranja e o reflector fictício representativo de metade da *Breakup Sequence*..



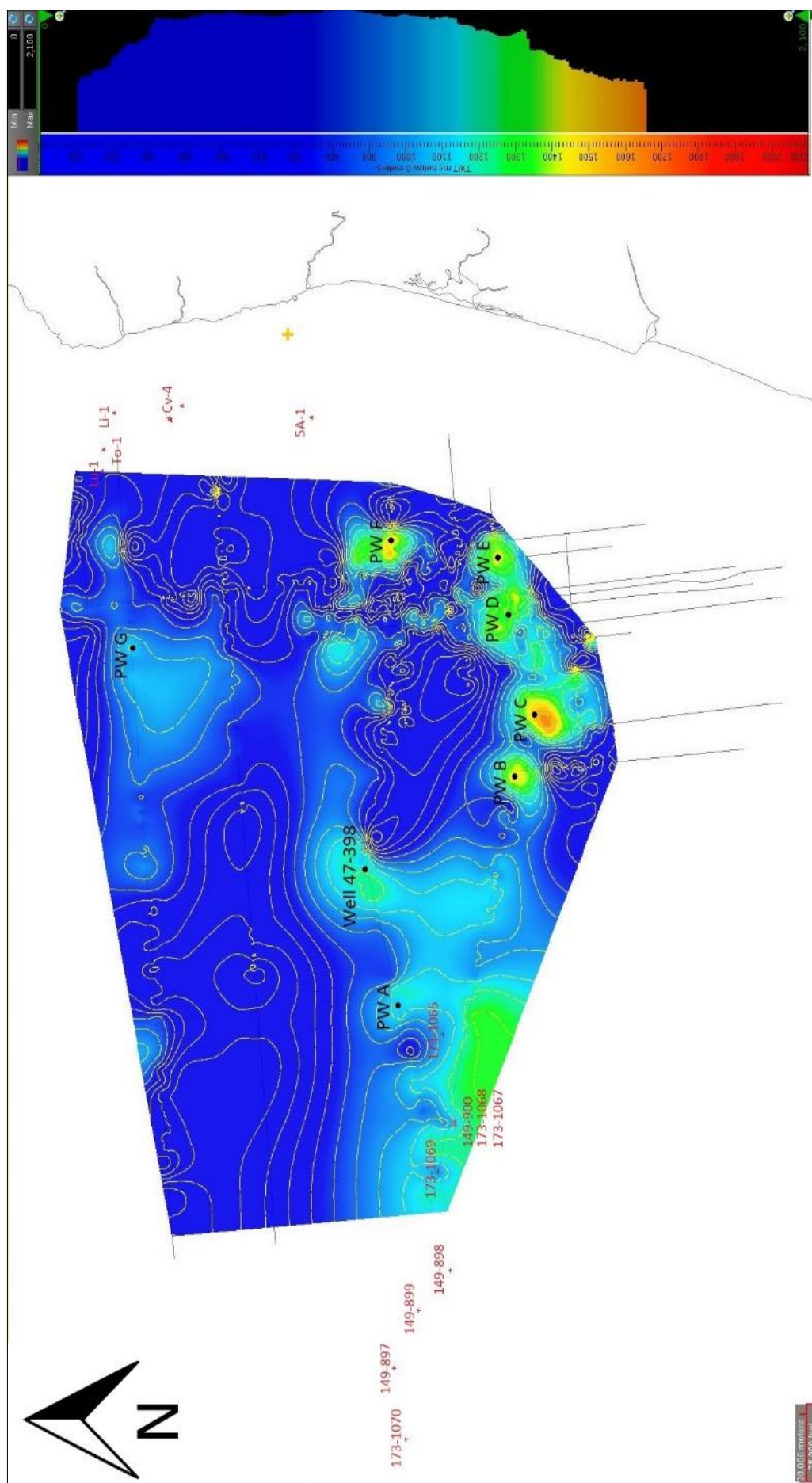


Figura 41: Mapa de isócronas correspondente à versão pessimista de *overburden* a que as "black shales" do Albiano são sujeitas, sendo esta obtida através da diferença entre o refletor fictício e o fundo marinho. Está também representada a localização das pseudo-sondagens sujeitas a modelação térmica.

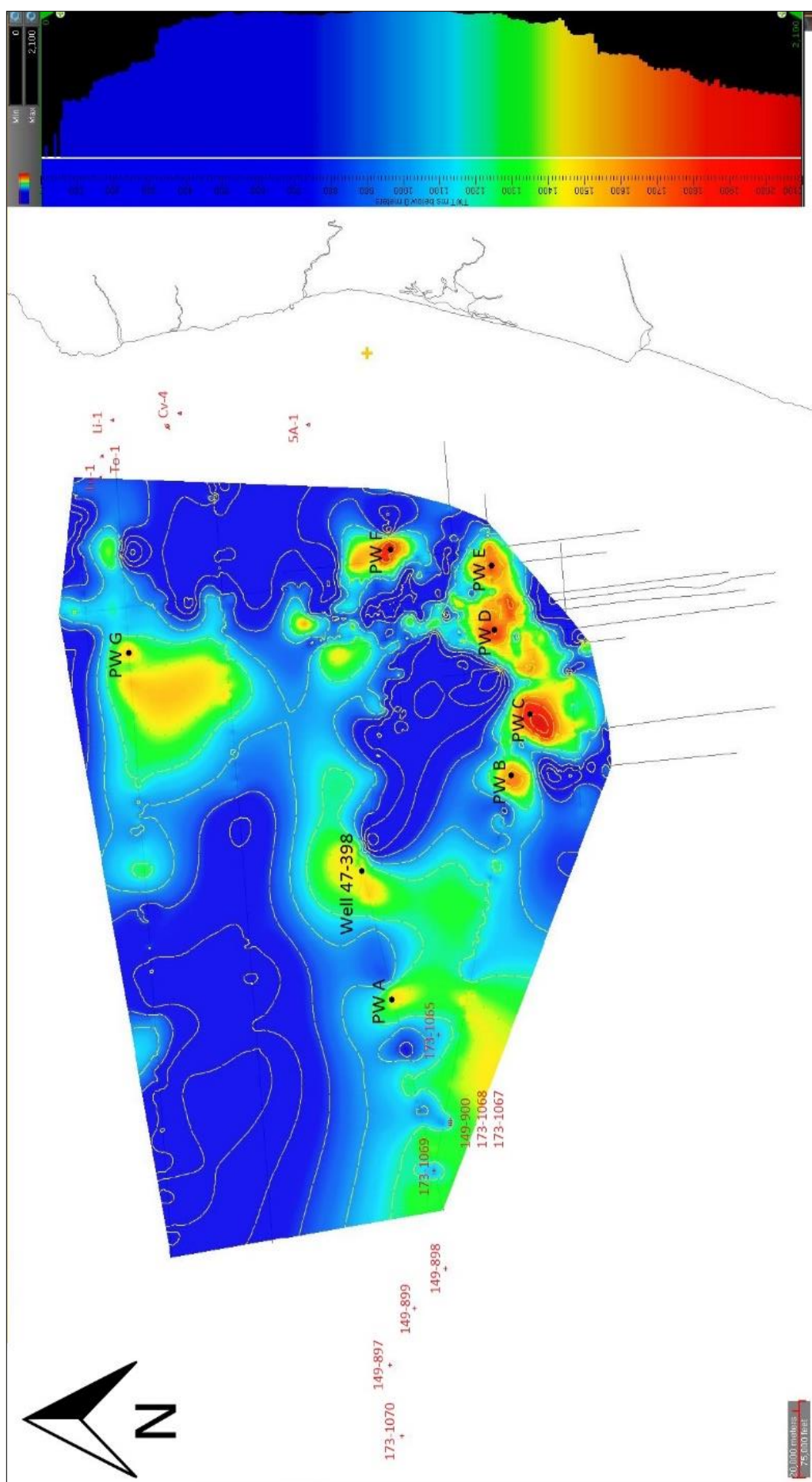


Figura 42: Mapa de isócronas correspondente à versão optimista de *overburden* a que as "black shales" do Albiano são sujeitas, sendo esta obtida através da diferença entre o reflector laranja e o fundo marinho. Está também representada a localização das pseudo-sondagens sujeitas a modelação térmica.

---

## D. Modelação térmica

As imagens que se seguem demonstram o potencial de geração de hidrocarbonetos, os valores de Reflectância da Vitrinite e o rácio/taxa de transformação de todas as unidades observadas nas pseudo-sondagens ao longo do tempo, mais especificamente das “*black shales*” definidas como rochas geradoras nestas modelações.

O potencial de geração de hidrocarbonetos e os valores de Reflectância da Vitrinite permitem identificar possíveis janelas da maturação segundo Sweeney & Burnham (1990). Já o rácio de transformação representa a transformação quantitativa da matéria orgânica original de rochas geradoras, baseando-se nos seus valores de *TOC* e *HI*. Este parâmetro permite identificar o *timing* do “Momento Crítico”, que corresponde ao instante em que uma determinada rocha geradora produz 50% (TR = 50%) de hidrocarbonetos através da conversão do querógeno.

Foram modeladas sete pseudo-sondagens e a sondagem *DSDP* 47-398 presentes na área de estudo. Todas as sondagens se encontram na MPE excepto a pseudo-sondagem A e a sondagem *DSDP* 47-398 que estão localizadas na MD. Apesar de existirem valores de Reflectância da Vitrinite recolhidos da sondagem *DSDP* 47-398, não se calibrou o modelo térmico com base nesses valores uma vez que estes estão adulterados por retrabalhamento e oxidação da matéria orgânica.

Apesar de terem sido definidas diferentes condições-fronteira em todos os poços modelados, assumiu-se que os eventos de *rifting* e respectiva duração foram os mesmos em toda a área de estudo apesar de se terem atribuído diferentes factores de estiramento consoante a localização dos poços modelados e de a segunda e terceira fases de *rifting*.

O potencial de geração de hidrocarbonetos divide-se em quatro classes: Imaturo (Azul), Gerador de Óleo (Verde), Gerador de Gás (Vermelho) e Sobrematuro (Amarelo). Os valores de Reflectância da Vitrinite são definidos pelo modelo EASY %Ro de Sweeney & Burnham (1990) e estão dispostos segundo um gradiente de cores, variando entre imaturo (< 0,5 %Ro, Verde e Azul), Janela de Hidrocarbonetos Pesados (0,5 a 0,7 %Ro, Amarelo) e Janela Principal do Óleo (0,7 a 1 %Ro, Vermelho). Finalmente, os valores da taxa de transformação estão também dispostos segundo um gradiente de cores e atingem o “Momento Crítico” aos 50% (Amarelo), variando entre este Amarelo e o Vermelho até aos 100%.

Com excepção da sondagem *DSDP* 47-398 onde foram utilizadas as unidades litológicas definidas na expedição, utilizaram-se as seguintes unidades: 1a (Miocénico Médio – Actualidade), 1b (Paleocénico Médio – Miocénico Médio), 2 (Turoniano – Paleocénico Médio), 3a (Cenomaniano), 3b (Albiano), 4 (Valanginiano - Topo do Aptiano) e 5 (Noriano – Valanginiano).

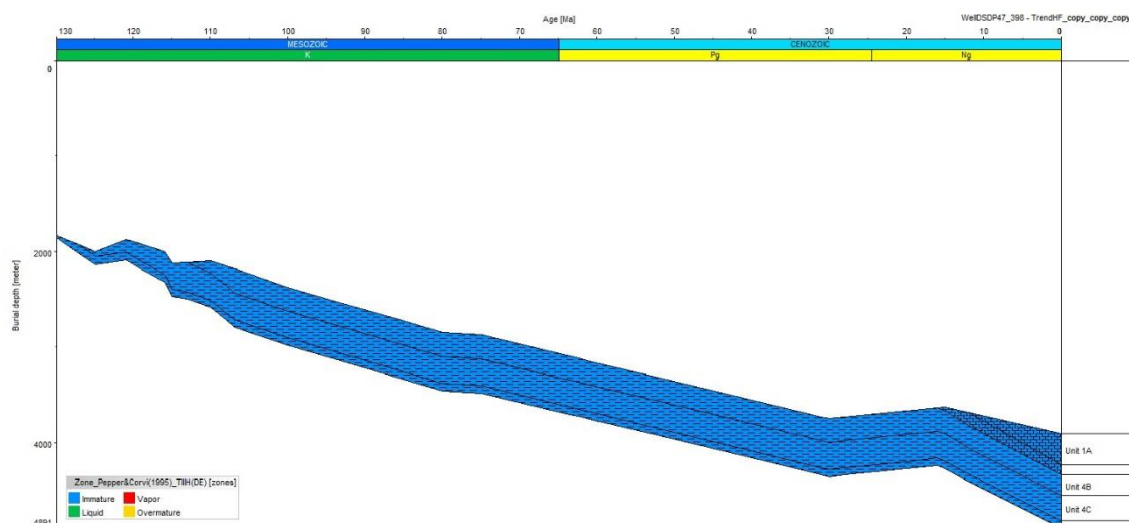


Figura 43: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na sondagem *DSDP* 47-398.

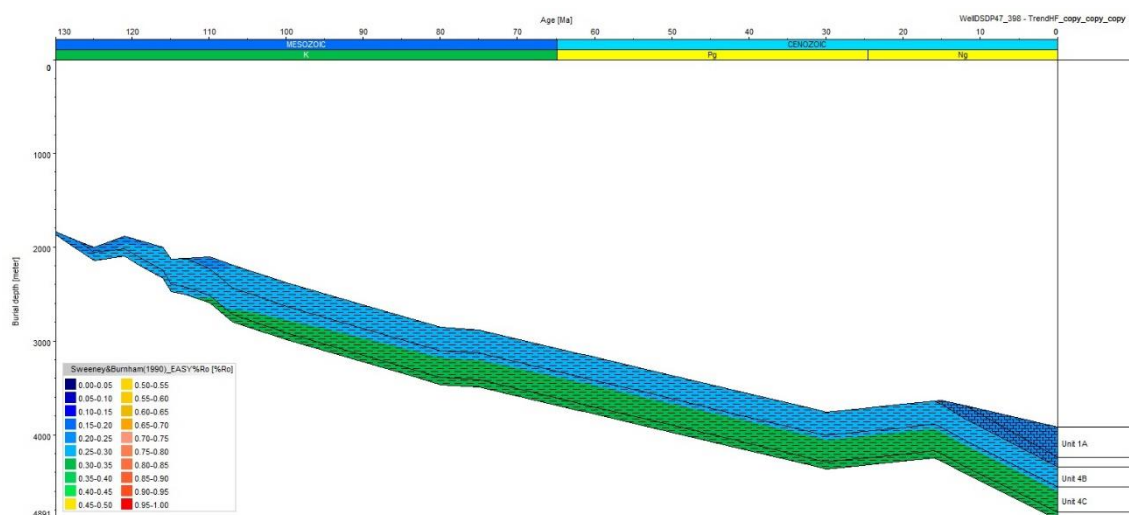


Figura 44: Modelação dos valores de reflectância da Vitrinite das unidades observadas na sondagem *DSDP* 47-398.

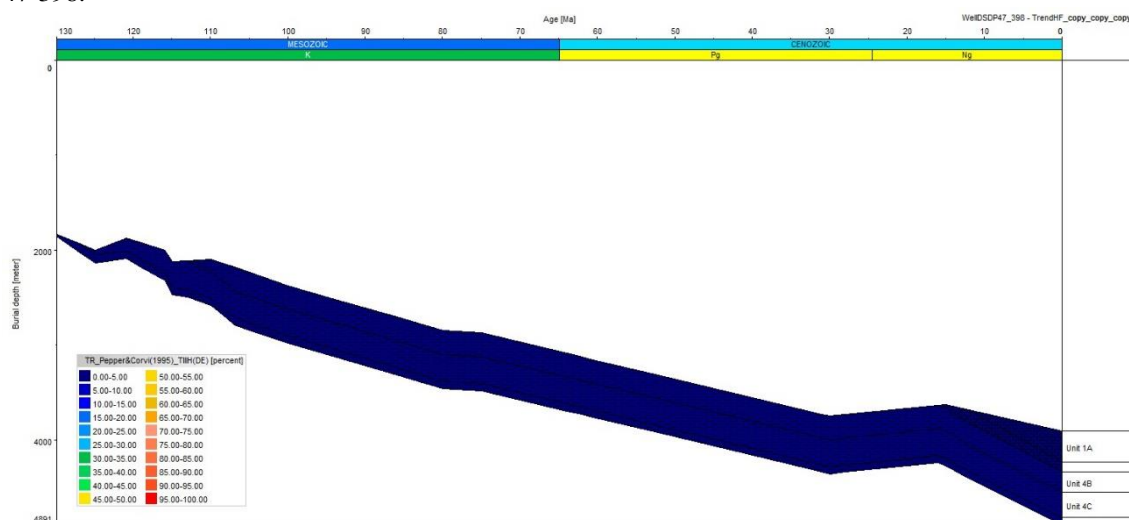


Figura 45: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na sondagem *DSDP* 47-398.



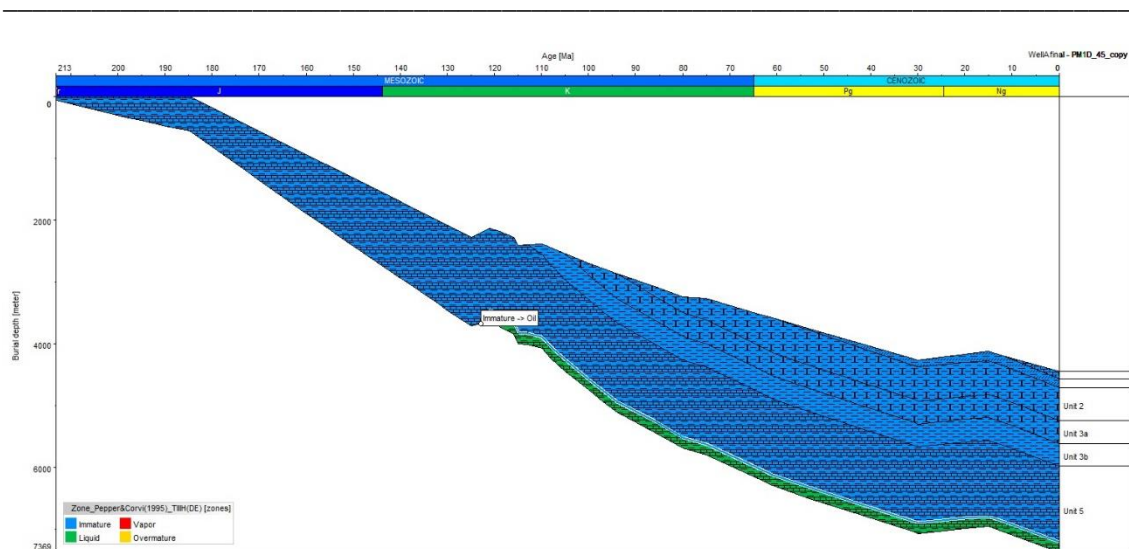


Figura 46: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem A.

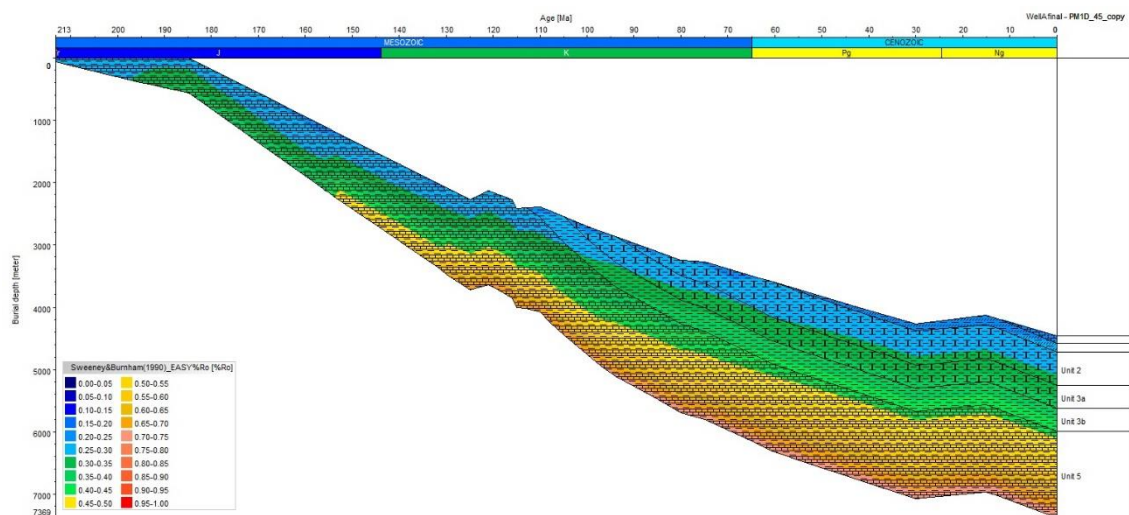


Figura 47: Modelação dos valores de reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem A.

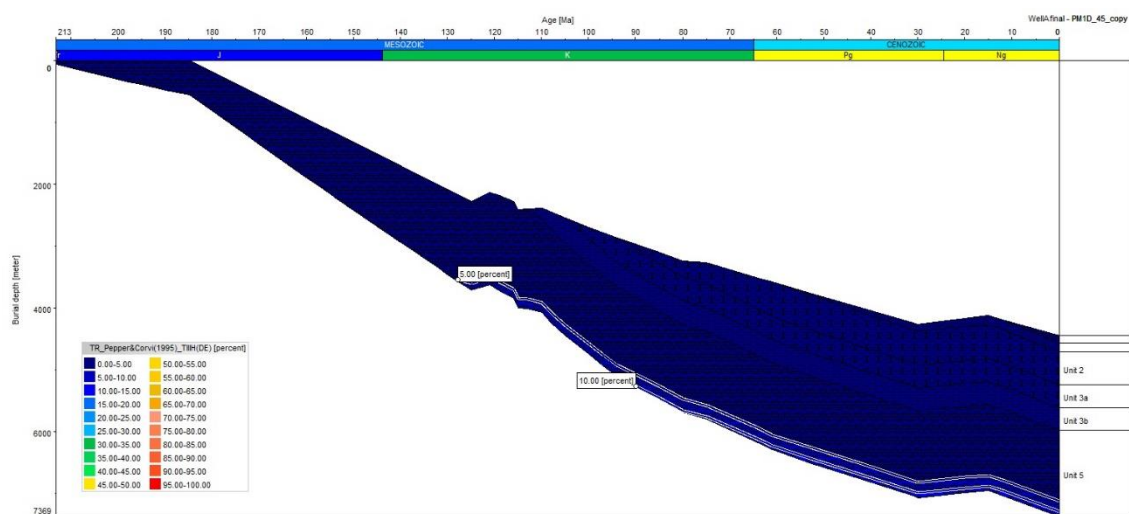


Figura 48: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem A.

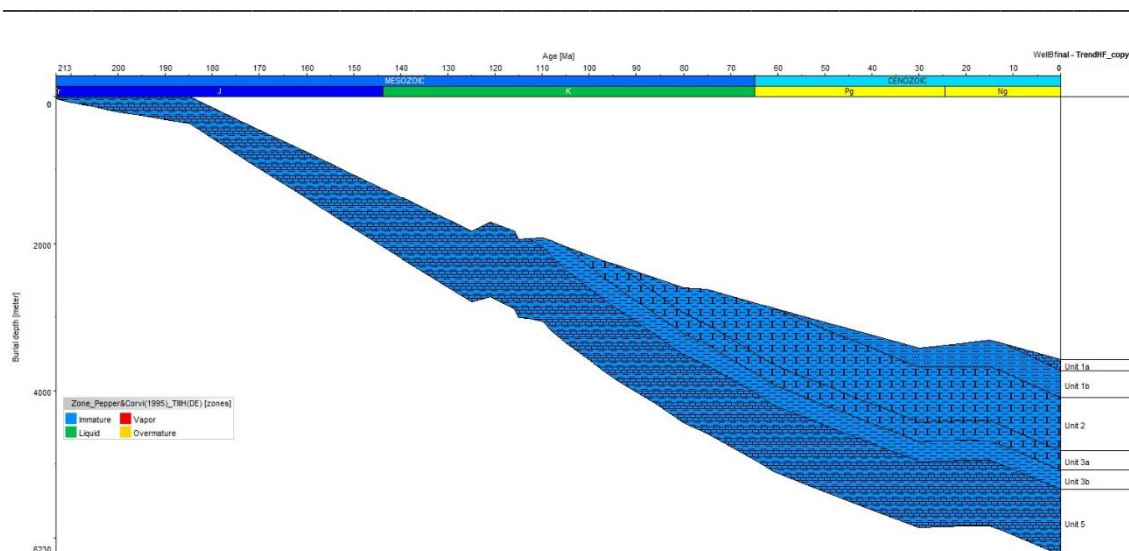


Figura 49: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem B.

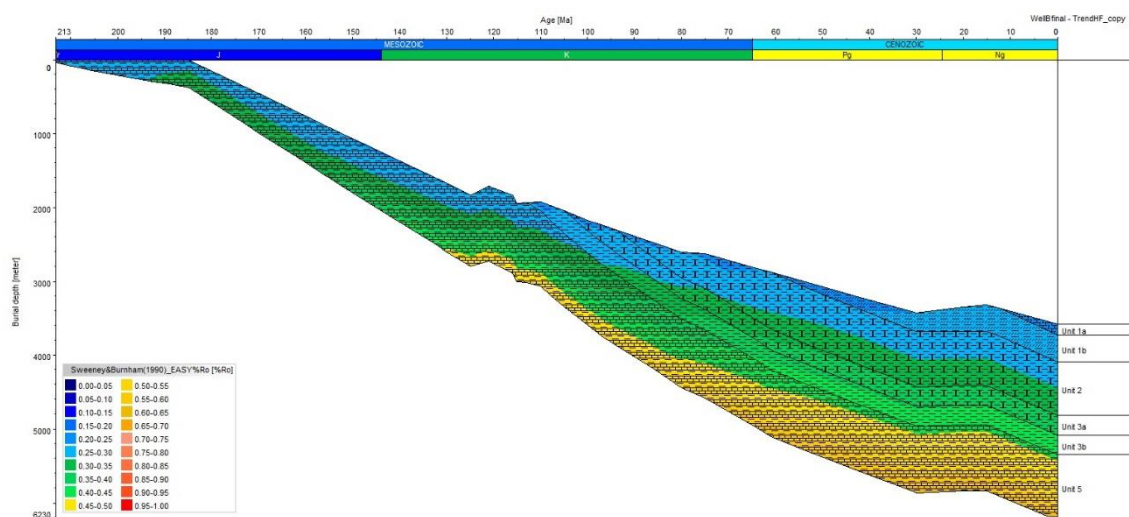


Figura 50: Modelação dos valores de reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem B.

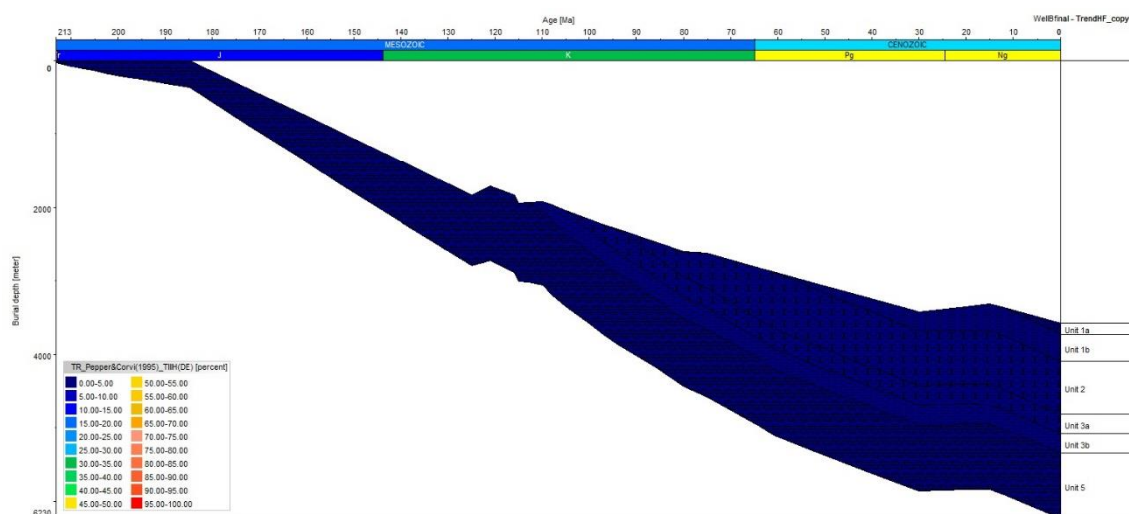


Figura 51: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem B.

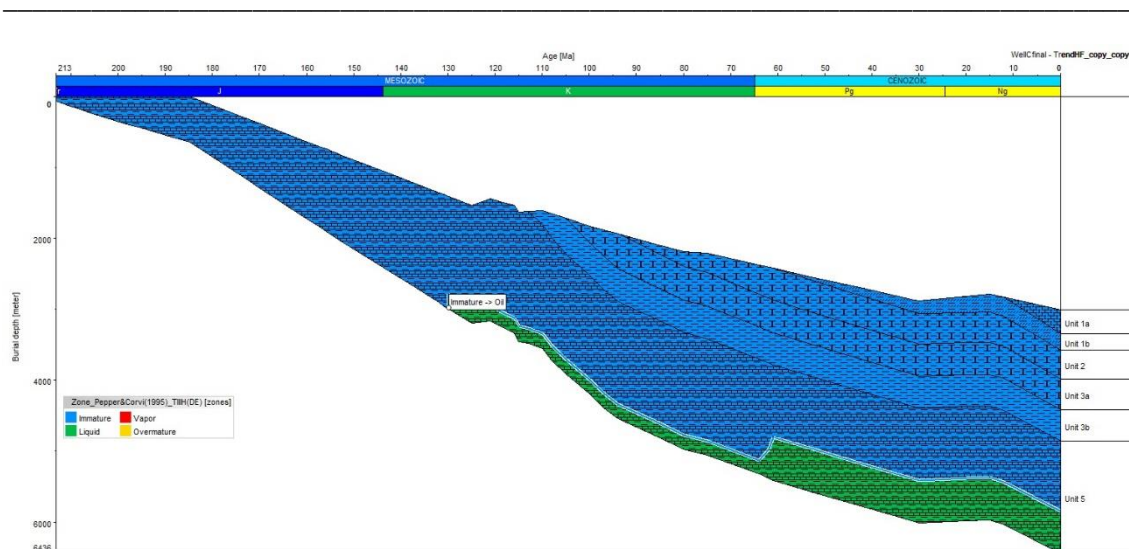


Figura 52: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem C.

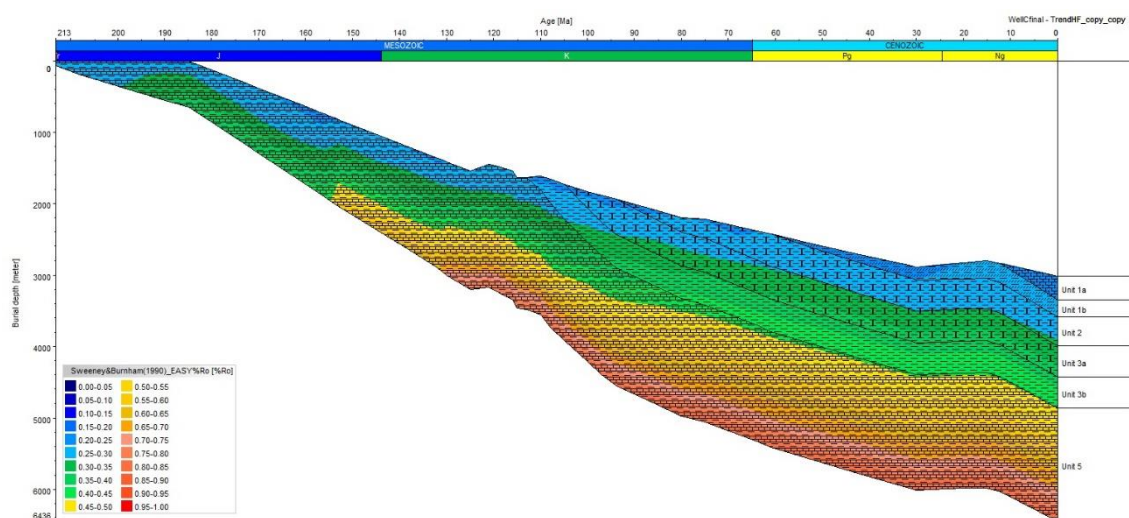


Figura 53: Modelação dos valores de reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem C.

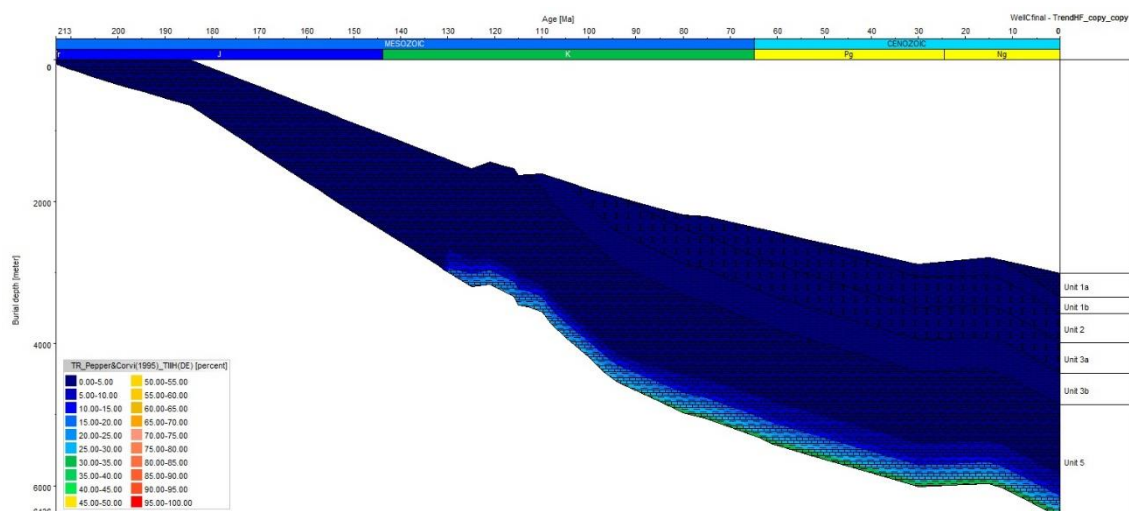


Figura 54: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem C.



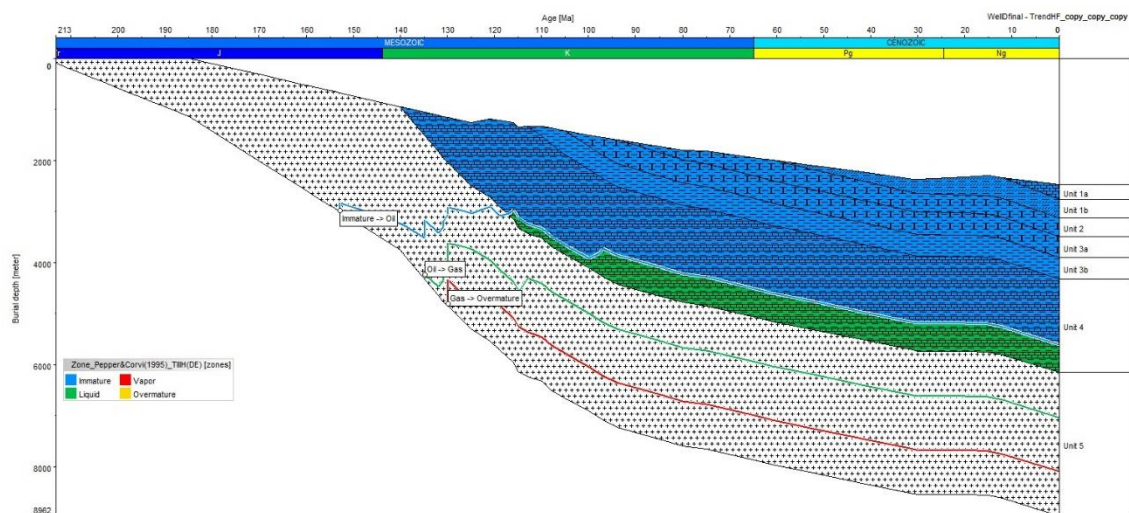


Figura 55: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem D.

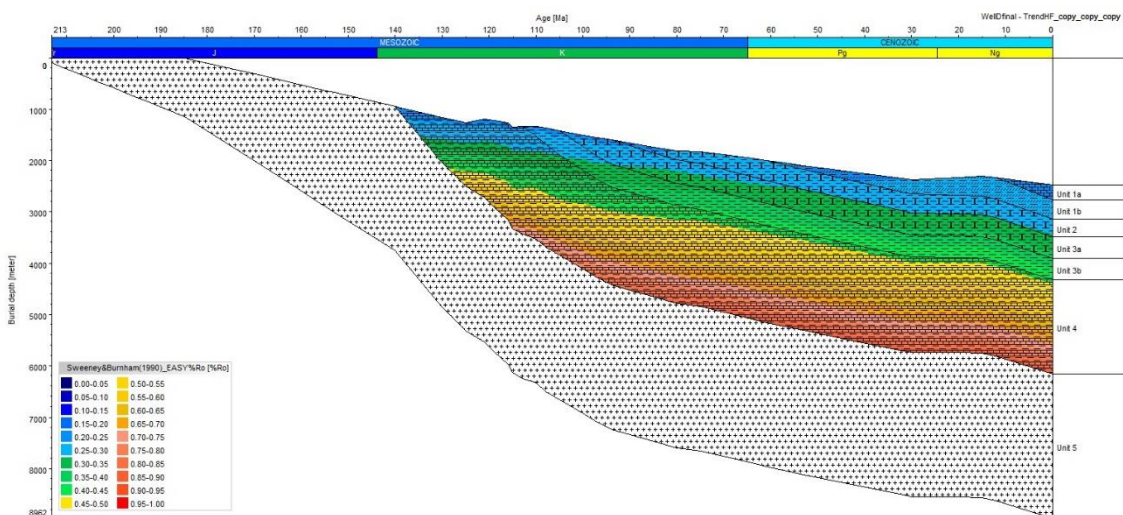


Figura 56: Modelação dos valores de reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem D.

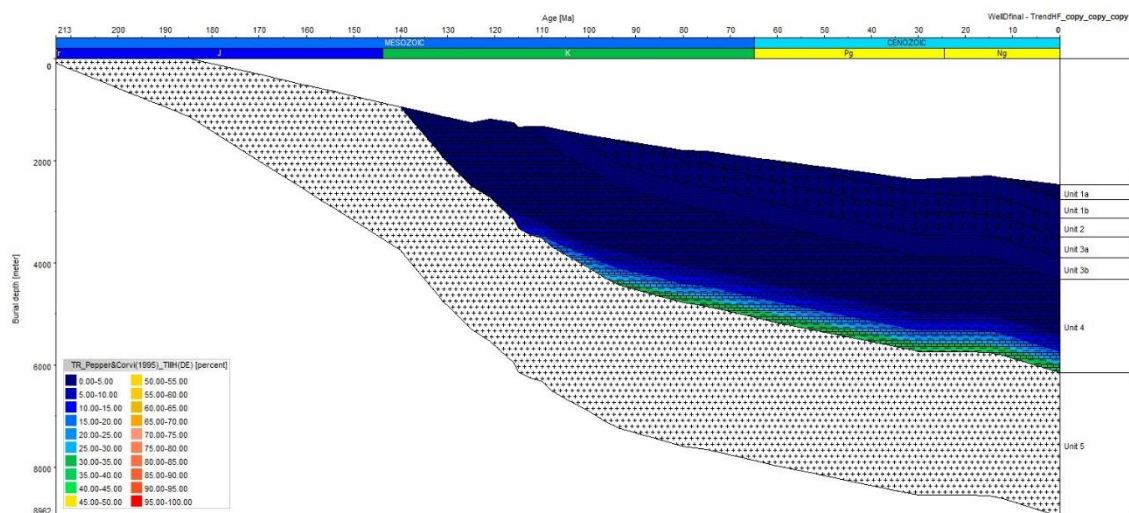


Figura 57: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem D.



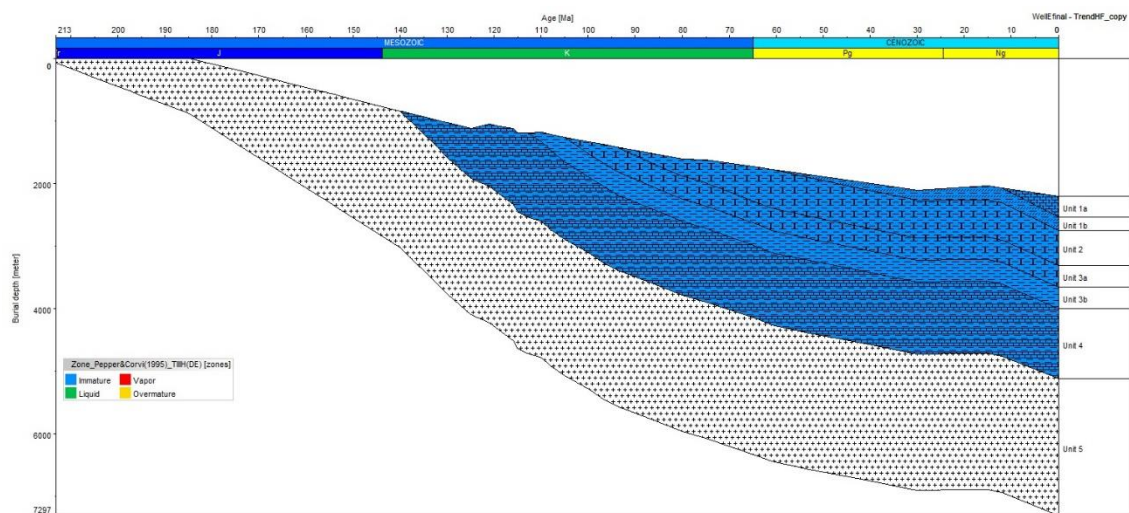


Figura 58: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem E.

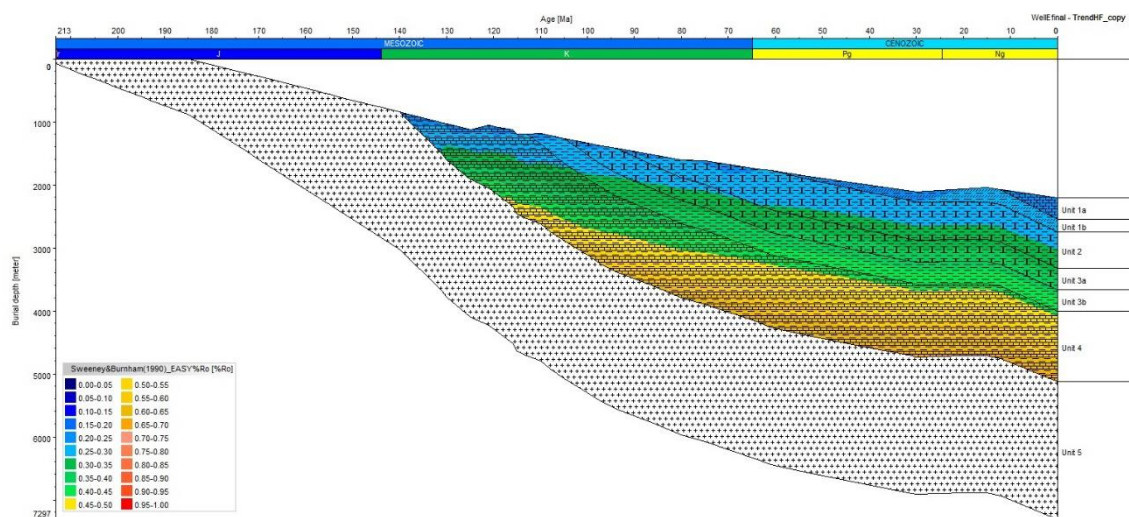


Figura 59: Modelação dos valores de reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem E.

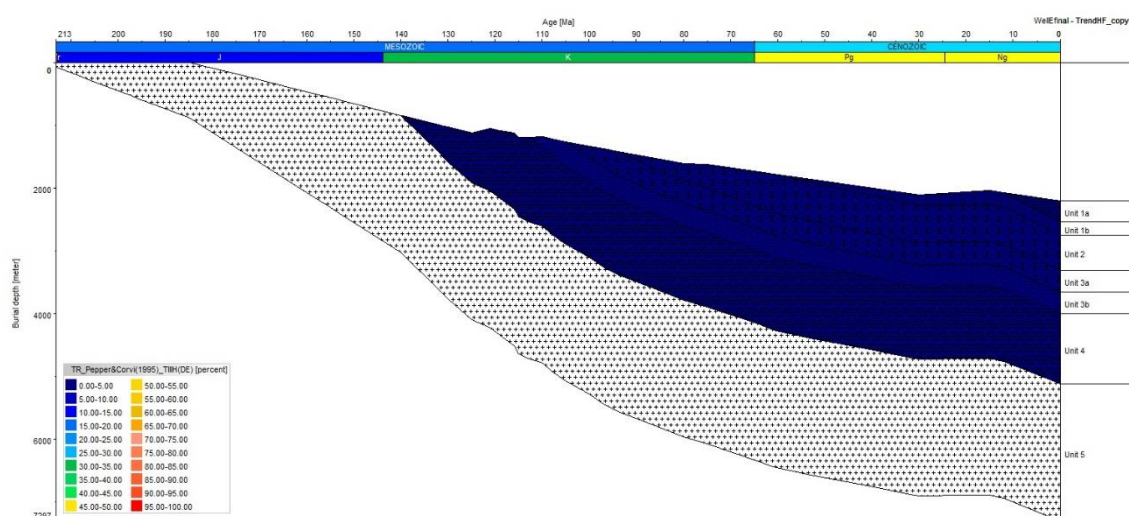


Figura 60: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem E.

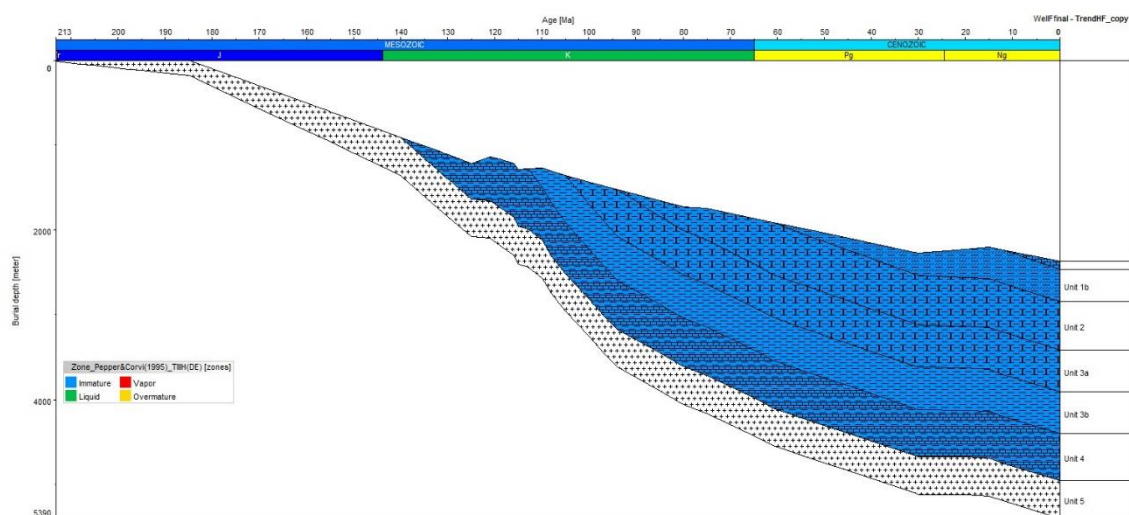


Figura 61: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem F.

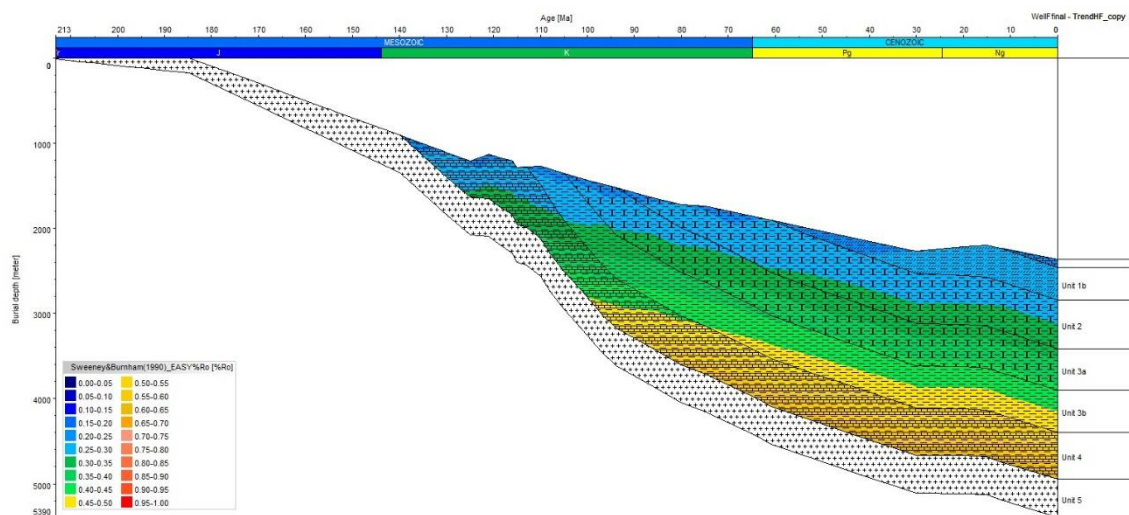


Figura 62: Modelação dos valores de reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem F.

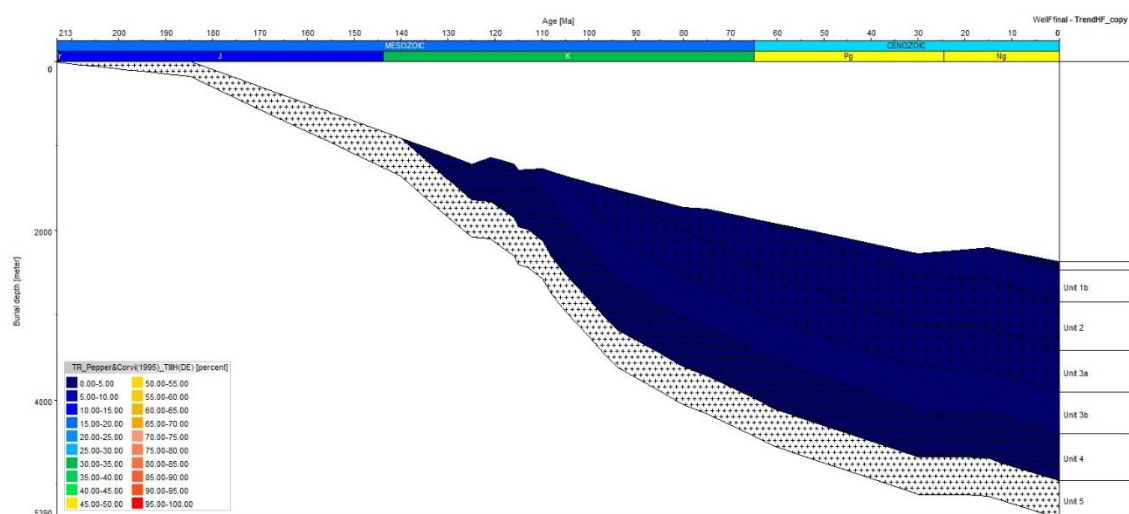


Figura 63: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem F.



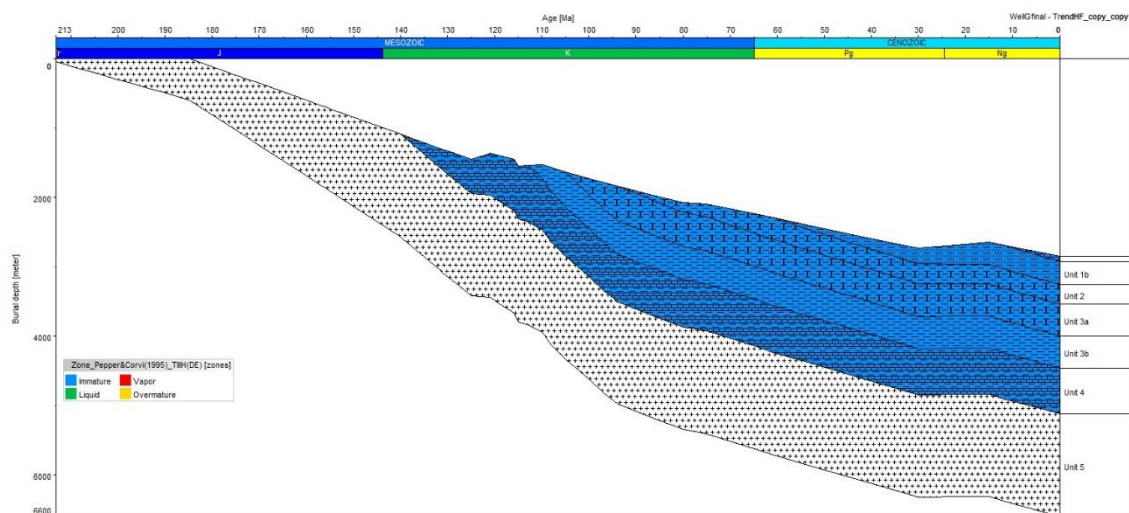


Figura 64: Modelação do potencial de geração de hidrocarbonetos das unidades observadas na pseudo-sondagem G.

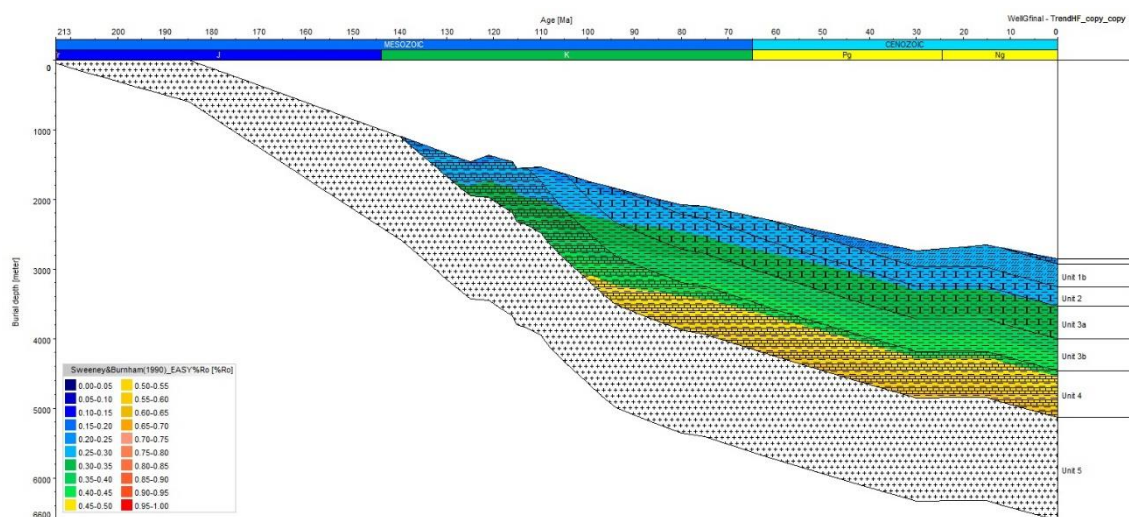


Figura 65: Modelação dos valores de reflectância da Vitrinite das unidades observadas na pseudo-sondagem G.

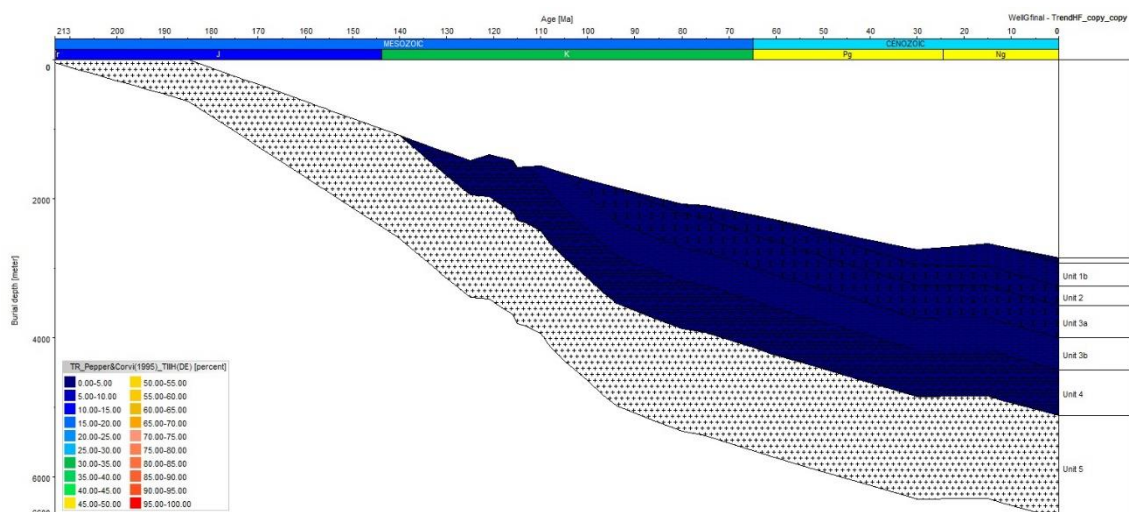


Figura 66: Modelação dos rácios de transformação das unidades observadas na pseudo-sondagem G.

---

# CAPÍTULO V

---

## CONTEXTUALIZAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

---

Este capítulo tem como objectivo a discussão e a interpretação dos principais resultados obtidos neste trabalho referentes ao capítulo 3 e 4, englobando quer as metodologias de estudo utilizadas, quer os resultados a que estas levaram. Serão abordados os assuntos de maior importância para esta dissertação tais como a tectono-estratigrafia da área de estudo, a sismo-estratigrafia da *Breakup Sequence*, o potencial geoquímico de maturação das “*black shales*” e a análise e modelação de sub-bacias presentes na área de estudo.

## A. Tectono-estratigrafia do sector NW da MOI

Verificou-se a existência de um período de forte subsidência entre o Jurássico Inferior (Pliensbachiano) e o Cretácico Inferior (Valanginiano) na qual se observaram algumas variações de espessura. Essa subsidência não foi uniforme em toda a área de estudo, sendo mais intensa à medida que se avança para Oeste, e apresenta valores médios de cerca de 1600 metros, variando entre os 1200 e os 2200 metros, segundo a modelação realizada nas pseudo-sondagens já referidas. Esta estará muito provavelmente relacionada com o segundo e terceiro eventos de *rifting* (Oxfordiano – Kimmeridgiano e Valanginiano – Hauteriviano). Já as taxas de sedimentação possuem grandes variações, destacando-se a elevadíssima taxa de sedimentação entre o Albiano e o Cenomaniano.

A área de estudo foi dividida em três localizações distintas: Margem Proximal Interior (MPI), que contém as bacias *offshore* proximais, na plataforma continental; Margem Proximal Exterior (MPE), que contém a maioria das zonas onde ocorre estiramento crustal continental, após a quebra da plataforma continental, sendo limitada pelos de soco estruturais na planície abissal Ibérica; Margem Distal (MD), que contém zonas de manto superior exumado cobertas por zonas extensas de blocos crustais continentais, iniciando-se entre os montes submarinos do Porto e Vigo, contendo ainda a zona transicional oceano-continente.

Na zona mais proximal da área de estudo, são visíveis e facilmente identificáveis na sísmica os principais alinhamentos de falhas. Estes alinhamentos indiciam forte controlo estrutural sobre a deposição dos pacotes sismo-estratigráficos identificados nesta zona. Como foi já referido, estes alinhamentos exibem a rede de fracturas que se pode associar à orogenia Hercínica, mostrando que as estruturas do soco Paleozóico na base destas bacias, principalmente na do Porto, tiveram uma forte influência na sua formação, iniciando-se durante o rifte do Triásico Superior e acentuando-se entre o Jurássico Superior e o Cretácico Inferior, onde o *rifting* atingiu o seu clímax. Foi também nesta fase, mais especificamente no Jurássico, que a subsidência tectónica começou a aumentar através da rotação de blocos do soco e da actividade halocinética dos evaporitos do Hetangiano (Formação de Dagorda). A conjugação destes eventos levou à formação de *horsts* e *rift shoulders* desenvolvidos perpendicularmente à principal direcção extensional E-

W. Estas barreiras à sedimentação foram muito provavelmente rompidas por falhas de acomodação ENE-WSW, conjugadas das NNW-SSE, sendo responsáveis pelo *bypass* sedimentar da margem proximal para a margem distal mais profunda (Casacão, 2015).

A partir do Cretácico Inferior a actividade tectónica extensional continua a decorrer, sendo acompanhada de uma diminuição gradual do Fluxo de Calor depois do ultimo episódios de *rifting*. Esta actividade tectónica extensional termina no evento de *breakup* no Aptiano/Albiano, iniciando-se a verdadeira fase de pós-rifte, na qual os pacotes sismo-estratigráficos se distribuem de forma genericamente tabular, o que sugere um fraco controlo tectónico sobre a sedimentação.

Se tivermos em conta que em algumas zonas, a espessura total de todas as unidades sismo-estratigráficas interpretadas atinge cerca de 5 s *TWT* (cerca de 6500 m), então podemos afirmar que a cobertura terciária, do Paleocénico à actualidade, revela uma espessura negligenciável, atingindo um máximo de 800 ms *TWT* (cerca de 750 m) e não ultrapassando os 200 ms *TWT* (cerca de 190 m) na zona de plataforma continental, onde se situa a Bacia do Porto. Apesar de ser ter sido no *site* DSDP 47-398 onde se observou maior espessura de pacotes terciários (794 m), é possível verificar que, junto às falhas de sopé de talude continental e em altos estruturais do soco (Montes submarinos de Porto e Vigo) há um ligeiro aumento da espessura destes pacotes relativamente à média. Isso pode dever-se ao efeito da actividade tectónica compressiva associada às orogenias Pirenaica e Bética sobre estes locais, levando a um levantamento da margem na zona de plataforma continental, fazendo com que tenha ocorrido menor deposição e/ou erosão das sequências terciárias. Já nas zonas mais distais, esta actividade levou à criação de espaços de acomodação nas zonas depocêntricas adjacentes aos montes submarinos referidos e junto das falhas de sopé de talude continental reactivadas durante esta fase.

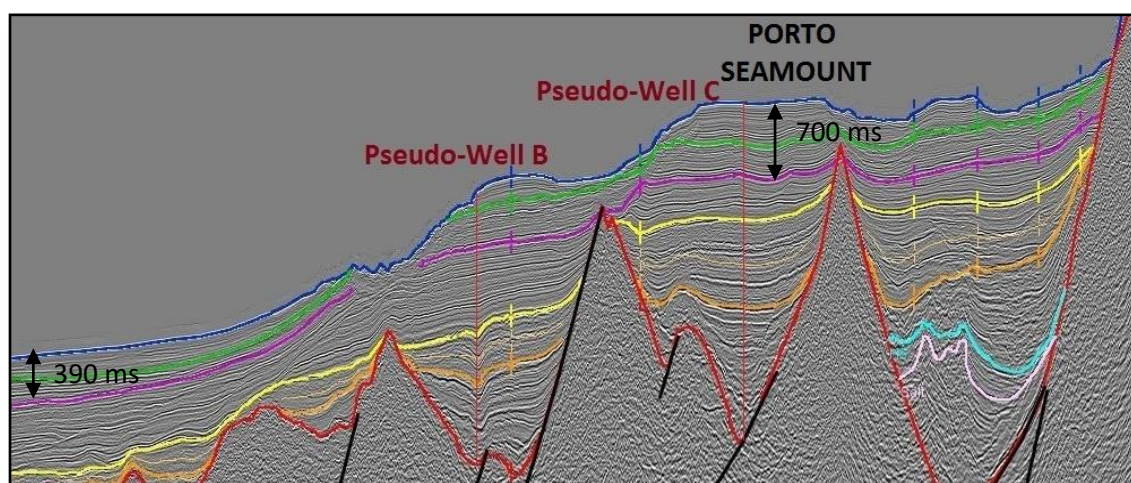


Figura 67: Comparação entre a cobertura terciária normal e em altos estruturais (*Porto Seamount*) na linha sísmica 3.



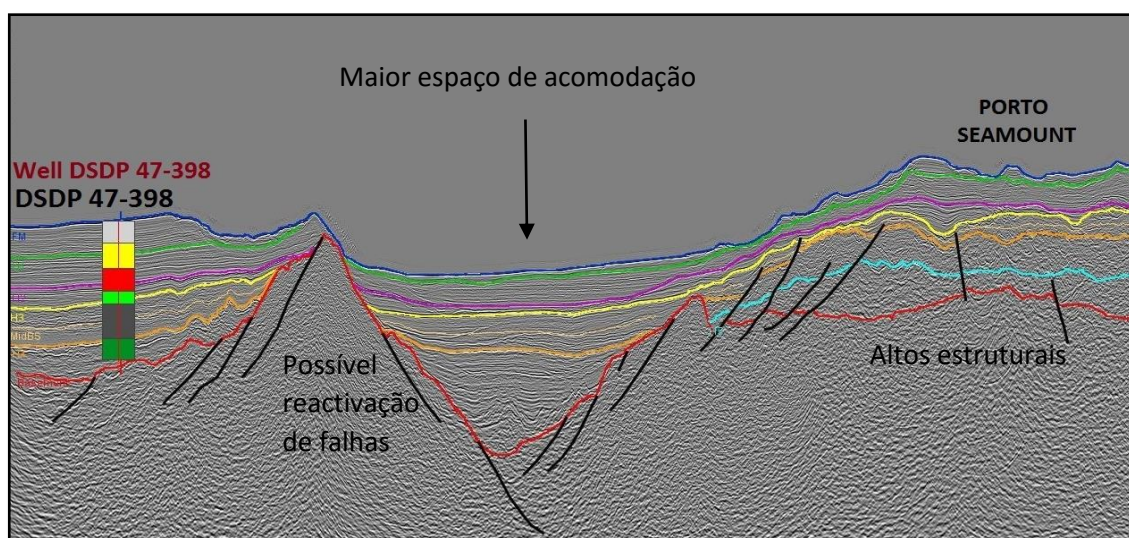


Figura 68: Espaços de acomodação gerados por actividade tectónica compressiva associada às orogenias Pirenaica e Bética (Linha sísmica 1).

Embora se tenha tentado correlacionar estratigraficamente as “*black shales*” do Albiano observadas nas sondagens *IODP* e as unidades Albanas observadas nas sondagens realizadas na Bacia do Porto tal não foi possível uma vez o equivalente das “*black shales*” na Bacia do Porto é a Formação de Torres Vedras, impossibilitando qualquer tipo de correlação.

A análise tectono-estratigráfica realizada na área de estudo permitiu, embora com algumas limitações, a identificação de diferentes pacotes pré a pós-rifte, quer na Bacia do Porto, quer na Bacia de Peniche. Estes pacotes estão compreendidos entre a unidades sismo-estratigráficas 5 a 1a.

A unidade 5 está compreendida entre o Noriano e o Berriasiano/Valanginiano e contém unidades pré a sin-rifte, apresentando uma espessura máxima observável de 3,5 s *TWT*. A unidade 4 está compreendida entre o Berriasiano/Valanginiano e o topo do Aptiano contém unidades sin a pós-rifte, apresentando uma espessura máxima observável de 2,1 s *TWT*. Estes pacotes terão sido formados ao longo das três fases de rifte, a primeira entre o Noriano (216 Ma) e o Pliensbachiano (190 Ma), a segunda entre o Oxfordiano (163 Ma) e o Kimmeridgiano (153 Ma) e a terceira entre o Berriasiano (140 Ma) e o Hauteriviano (130 Ma). Apesar de terem identificado apenas dois pacotes em três fases de rifte, isso decorre apenas da interpretação sismo-estratigrafia realizada onde não se verificaram motivos para a definição de mais do que duas unidades sismo-estratigráficas, provavelmente devido à fraca qualidade do sinal a estas profundidades, que são já muito elevadas.

A fase de pós-rifte, embora se tenha iniciado aquando da deposição da unidade 4, é melhor observada após o evento de *breakup* e estende-se até ao Terciário, caracterizando-se pela presença de estratos mais tabulares, com maior continuidade e menor amplitude, cobrindo uniformemente

---

os depósitos sin-rifte, verificando-se no entanto algumas cunhas de crescimento sedimentar a irem de encontro às falhas normais situadas em zonas de sopé continental.

A unidade 3 está compreendida entre o topo do Aptiano e o Cenomaniano/Turoniano e contém unidades depositadas na fase de *drift*, enquanto as restantes unidades (2, 1b e 1a) resultam da deposição sedimentar na fase de inversão, correspondendo cada uma delas a uma fase de inversão, com a unidade 2 compreendida entre o Cenomaniano/Turoniano e o Paleocénico Médio, a unidade 1b compreendida entre o Paleocénico Médio e o Miocénico Médio/Superior e a unidade 1a compreendida entre o Miocénico Médio/Superior e a actualidade.

## B. Sismo-estratigrafia da *Breakup Sequence*

A *Breakup Sequence* é limitada por duas importantes inconformidades estratigráficas, são elas a *breakup unconformity* do Aptiano tardio – Albiano que marca a base da *Breakup Sequence* e a inconformidade do Cenomaniano tardio – Turoniano inicial que evidencia um evento regressivo no Atlântico Norte e que marca o topo da *Breakup Sequence*. Esta unidade apresenta maiores espessuras nas sub-bacias próximas das *Slope Faults*, onde atinge uma espessura máxima de 1200 m, tornando-se menos espessa à medida que avançamos para a planície abissal e em altos estruturais (Alves *et al.*, 2006).

O carácter sísmico e estratigráfico da *Breakup Sequence* não é o mesmo nas zonas proximais e distais da área de estudo. Essas diferenças estão muito provavelmente relacionadas com as mudanças nos sistemas deposicionais relativamente a factores como a paleobatimetria, a proximidade das fontes sedimentares, a paleotopografia e a posição dos depocentros relativamente ao *locus* extensional (Kyrkjebø *et al.*, 2004).

Nos dados sísmicos disponíveis é possível observar a discordância do Aptiano/Albiano (*LBS*) na MPI correspondente à Bacia do Porto, seguindo-se uma deposição de sistemas tractivos de regressão forçada até à borda da plataforma. Isso fez com que tenha havido um *bypass* sedimentar da plataforma continental para as zonas mais profundas da margem (Casacão, 2015).

Segundo Soares (2014), os dados sísmicos mostram que a discordância diminui em magnitude à medida que avançamos para Oeste, onde há um aumento progressivo da presença de sedimentos jovens abaixo da *LBS* (*Lithospheric Breakup Surface*). Isto sugere que o *uplift* tectónico foi mais pronunciado para Este, resultando muito provavelmente do soerguimento de uma parte significativa da margem proximal (Cloetingh *et al.*, 1989). Podemos então afirmar que, na Bacia do Porto, a *LBS* é considerada como uma superfície basal de regressão forçada (Soares, 2014) e que, para terra, este torna-se numa superfície de erosão subaérea visto que se confunde com discordâncias mais antigas geradas em *basin shoulders* (Alves *et al.*, 2003a).



Foram perfurados estratos abaixo da *LBS* em vários *sites ODP* e *DSDP*, nomeadamente nos *sites* 398, 641 e 1276, observando-se depósitos de vertente, turbiditos e debritos provenientes quer de fontes continentais quer de cristas erodidas, depositando-se acima ou na transição para o *CCD*. Esses estratos foram posteriormente cobertos por “*black shales*” pós-*LBS* nos *sites* 398 e 641 (Sibuet *et al.*, 1979; Boillot *et al.*, 1987b) que depositaram acima ou próximos da transição para o *CCD*. Estas “*black shales*” observam-se na sísmica de reflexão como reflectores transparentes a sub-paralelos que se depositaram num período de quiescência tectónica.

Tabela 12: Carácter sísmico e litológico da *Breakup Sequence* (adaptado de Soares, 2014).

		MD	MPE	MPI	
Seismic Character	Earliest syn-rift	Transparent reflectors onlapping structural highs and LBS	Transparent reflectors onlapping structural highs and LBS	downlapping (with toplap) reflectors on the LBS	
	Latest post-rift	Chaotic, divergent, strong reflectors	Chaotic, parallel and divergent reflectors	Parallel reflectors	
Depositional environment	Earliest syn-rift	Pelagic deposition below CCD	Pelagic deposition below CCD	Deltaic to fluvial deposition	
	Latest post-rift	Pelagic deposition below CCD	Pelagic deposition below (distally) and above CCD (proximally)	Neritic	
Lithology	Earliest syn-rift	Black shales (in starved depocentres)	Black shales (in balanced depocentres)	Fine to coarse siliciclastics (overfilled depocentres)	
	Latest post-rift	Mass flow deposits (hemipelagic background.)	Mass flow deposits (hemipelagic background.)	Marls to fine siliciclastics	
Stratigraphic contact		Diastem?	Diastem/conformable (probable short hiatus or condensed level)	Unconformity (hiatus less expressive basinwards)	Composite subaerial unconformity
Sequence stratigraphic surface		Correlative conformity	Correlative conformity	Erosive basal surface of forced regression	Subaerial unconformity
				OFFSHORE	ONSHORE

Na MPE e na MD houve um súbito cessar dos eventos de transporte gravítico de massa em toda a *LBS* que foi causado pela quietude tectónica que se seguiu ao evento de *breakup* levando a que começasse a haver um predomínio de hemipelagitos e turbiditos distais. No entanto, comparativamente à margem conjugada de Newfoundland, a área distal da MOI tinha um pacote sedimentar muito reduzido nesta altura (Shipboard Scientific Party, 1987b), estando menos propensa a deposição turbidítica sem tectonismo significativo.

A *BS* é delimitada por duas inconformidades e é facilmente observável na sísmica podendo ser interpretada noutras margens continentais divergentes. Segundo Soares (2014), o *timing* relativo no qual a subsidência termina predomina sobre o *breakup* litosférico depende de alguns factores, são eles a velocidade com que o *breakup* é atingido, a probabilidade do *uplift* litosférico provocar mudanças na densidade do manto superior e a influência exercida pela descarga erosional de áreas proximais soerguidas. Assim, o modo como as sequências sedimentares registam o evento de *breakup* litosférico depende do acarreo sedimentar relativo, da subsidência, do clima e do balanço entre os movimentos tectónicos e o eustatismo através e ao longo de uma margem continental. Estes parâmetros são os responsáveis pelo diacronismo observado na *LBS* e nas diferentes unidades que formam a *BS*.

Enquanto na MPI, a *BS* se caracteriza pela superfície erosiva basal da *LBS*, pela distinta arquitetura estratigráfica e pelos diferentes graus de imaturidade sedimentar, na MD e na MPE o seu carácter é muito diferente, onde a *LBS* tanto pode ser um diastema como uma conformidade relativa, seguidas de depósitos hemipelágicos de “*black shales*” com quantidades significativas de matéria orgânica continental na *BS*.

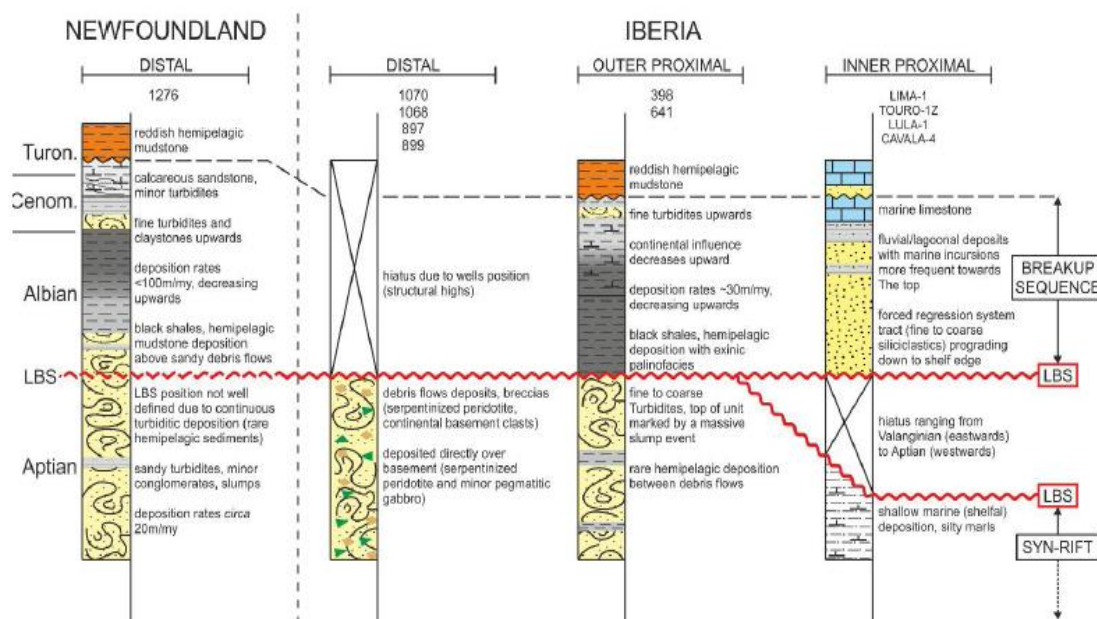


Figura 69: Correlações estratigráficas entre sondagens perfuradas através da *LBS* em diferentes zonas da margem (retirado de Soares, 2014).

A matéria orgânica é mais facilmente transportada através de longas distâncias comparativamente a componentes mais pesados também presentes na carga sedimentar que promove a sua deposição e acumulação nas zonas mais profundas da área de estudo.

As lentas correntes oceânicas de fundo existentes durante o Albiano (Robinson *et al.*, 2010) não seriam capazes de repor rapidamente o oxigénio consumido pela degradação deste súbito influxo de matéria orgânica, levando à anoxia.

Neste trabalho, a *Breakup Sequence* está delimitada pelos reflectores laranja e amarelo. Enquanto o reflector laranja marca a transição *rifting-breakup* no topo do Aptiano e corresponde à base da *Breakup Sequence* (*LBS*), o reflector amarelo marca a transição do *drift* Cretácico para a inversão da área de estudo, entre o Cenomaniano e o Turoniano, correspondendo ao topo da *Breakup Sequence*.

---

## C. Potencial gerador das “*black shales*”

A análise dos dados de geoquímica orgânica das “*black shales*” do Albiano proporcionou informação suficiente para constatar que as “*black shales*” que, devido aos seus bons valores de *TOC*, pareciam inicialmente rochas geradoras de boa qualidade, eram no entanto sedimentos com potencial gerador razoável a bom embora com muito pouca capacidade de gerar compostos no pico da sua maturação, gerando na melhor das hipóteses reduzidas quantidades de gás.

Esta interpretação baseou-se na existência de valores de *TOC* razoáveis a bons, embora os valores do *HI* sejam muito baixos e pouco promissores devido ao seu estado avançado de alteração por retrabalhamento e/ou oxidação. A identificação destes valores baseou-se exclusivamente no intervalo gerador do Albiano observado na sondagem *DSDP* 47-398 uma vez que só aí foram observadas as “*black shales*”. Apesar de também existirem valores elevados de *TOC* entre o Hauteriviano e o topo do Albiano e ainda no Cenomaniano, estes valores só são constantes no Albiano e só nesse intervalo é que a sua média de valores é suficiente para que se possam considerar estas *shales* como potenciais rochas geradoras. Como foi referido no Capítulo 3 (Modelação térmica – Dados de geoquímica orgânica), os valores de *TOC* e *HI* podem estar subvalorizados uma vez que ao longo do processo de maturação costuma haver uma redução destes valores.

Segundo Deroo *et al.*, (1979), as amostras de “*black shales*” do Albiano deverão ser compostas por Querógeno dos tipos II e III, embora com um grande predomínio do tipo III devido ao predomínio de plantas terrestres superiores sobre o material hemipelágico presente. Estes resultados remetem para a possível geração de gás.

Segundo Deroo *et al.*, (1979) quase todas as medições da *T<sub>máx</sub>* se situaram entre os 417 e os 437 °C, havendo apenas uma amostra que atingiu os 444°C. Uma vez que a temperatura do pico da pirólise corresponde à zona de óleo imaturo entre os 400 e os 440 °C, à zona do óleo maturado entre os 440 e os 460°C e à zona do gás para lá dos 460 °C, então, os valores medidos remetem para um estágio evolutivo imaturo.

Também Doerenkamp & Robert (1979) realizaram um estudo óptico da matéria orgânica presente em amostras de idade Cretácicas recolhidas da sondagem 398D e chegaram a conclusão que a reflectância média obtida, de 0,5 %Ro, remete para uma maturação termal reduzida embora este valor possa ser considerado relativamente alto quando comparado com os gradientes de temperatura médios para tais profundidades.

Para finalizar, Kendrick *et al.*, (1979) realizaram várias medições da pirólise para o *site* 398. Estes consideram que um sedimento deve ter um *C<sub>eff</sub>* de 0,26% para que possa ser considerado

---

como potencial rocha geradora de petróleo. Nas medições realizadas, só uma amostra de idade Aptiana possui um  $C_{eff}$  superior a 0,26% pelo que estas unidades ainda não devem ser consideradas potenciais rochas geradoras de petróleo.

Com base nos estudos de geoquímica orgânica realizados no *site* 398, podemos afirmar que a probabilidade de as “*black shales*” terem potencial como rochas geradoras de petróleo é reduzida. Ainda assim, estas foram termicamente modeladas no *software* PetroMod para verificar qual é o seu verdadeiro potencial como rochas geradoras.

## D. Análise e modelação de áreas depocêntricas

Na análise da evolução da área de estudo, foi tida em conta a litostratigrafia observada nos vários *sites* IODP e os mecanismos de controlo tectono-estratigráficos, permitindo assim determinar e localizar os diferentes eventos de natureza tectónica.

Esta iniciou-se com a identificação e interpretação de horizontes sísmicos, dos quais se destacam os horizontes 3 e 4 (amarelo e laranja, respectivamente) pois é neste intervalo que se encontra o potencial alvo gerador, as “*black shales*” do Albiano. De seguida foram criados mapas de isócronas relativos à espessura entre os horizontes 4 e o fundo do mar (perspectiva optimista) e a espessura entre metade da distância entre os horizontes 3 e 4 e o fundo do mar (perspectiva pessimista), permitindo calcular o *overburden* a que as “*black shales*” foram sujeitas. Estes mapas de isócronas permitiram a identificação das áreas depocêntricas onde o *overburden* é maior e, com base nesses valores e na localização das mesmas, foram seleccionadas oito áreas depocêntricas para posterior modelação no *software* PetroMod.

Para a determinação dos factores de estiramento foi consultado o trabalho de Jeanniot *et al.*, (2016), obtendo-se diferentes valores consoante a localização das *pseudo-wells*: um factor de estiramento de 3,5 no *pseudo-well* A e na sondagem DSDP 47-398, um factor de estiramento de 3 nos *pseudo-wells* B e C, um factor de estiramento de 2,5 no *pseudo-well* D e um factor de estiramento de 2 nos *pseudo-wells* E, F e G. Já os parâmetros crustais e mantélicos foram obtidos através dos pressupostos de Cunha (2008).

Foram consideradas três fases de rifte, a primeira entre os 216 (Noriano) e os 190 Ma (Pliensbachiano), a segunda entre os 163 (Oxfordiano) e os 153 Ma (Kimmeridgiano) e a terceira entre os 140 (Berriasiano) e os 130 Ma (Hauteriviano).

Estes parâmetros térmicos foram então utilizados na construção de um modelo de fluxo de calor ao longo do tempo tendo sido inseridos no *software* PetroMod, obtendo-se uma curva de

---

maturação térmica que apenas teve em conta episódios de soerguimento e subsidência, não contemplando qualquer evento erosivo.

Todas as *pseudo-wells* realizadas foram baseadas na sondagem *DSDP* 47-398 pelo que há um enorme grau de incerteza nestas modelações devido à ausência de mais sondagens que tenham interceptado “*black shales*”. Outras limitações foram a ausência de sondagens na MPE, a malha sísmica muito limitada e a incapacidade de correlacionar as sondagens *IODP* realizadas na MD com as sondagens realizadas na Bacia do Porto e presentes na MPI.

Para a modelação das *pseudo-wells* foram utilizados os parâmetros térmicos já referidos mas também dados referentes à paleobatimetria, à temperatura da interface água-sedimento, à geoquímica orgânica das “*black shales*” e à sísmo-estratigrafia de cada *pseudo-well*. Depois de inseridos todos os dados, o *software* PetroMod processa toda a informação e modela estas áreas depocêntricas fornecendo informação relativa à maturação das “*black shales*” da qual se destaca o potencial de geração de hidrocarbonetos, a reflectância das Vitrites e o rácio de transformação.

Relativamente ao potencial de geração de hidrocarbonetos este revelou que as “*black shales*” do Albiano não maturaram o suficiente para gerar hidrocarbonetos em nenhum dos poços modelados. Apesar de as unidades 4 e 5 aparentemente não possuírem potencial significativo como rochas geradoras, estas teriam maturado o suficiente para gerar óleo nas *pseudo-wells* A e C (unidade 5) e na *pseudo-well* D (unidade 4).

A reflectância da Vitrinite varia um pouco nos poços modelados, com as “*black shales*” do Albiano a confirmarem a imaturidade lhes tinha sido já atribuída, com valores mínimos de 0,30 %Ro na sondagem *DSDP* 47-398 e valores máximos de 0,50 %Ro na pseudo-sondagem F, possuindo valores de cerca de 0,45 %Ro em todas as outras pseudo-sondagens. O valor máximo de reflectância da Vitrinite obtido na modelação (0,30 %Ro) é muito inferior ao valor máximo medido na expedição (0,77 %Ro) e essa discrepância vem confirmar a teoria de Hood & Castaño (1974), segundo a qual um dos problemas na interpretação da reflectância da vitrinite se deve à presença de vitrinite oxidada ou retrabalhada a partir de sedimentos mais antigos e com uma história termal anterior e foi isso que aconteceu às “*black shales*” observadas neste *site* onde se verificou um estágio avançado de alteração devido a retrabalhamento e/ou oxidação. Os valores de reflectância da Vitrinite são elevados em alguns poços nas unidades 4 e 5, destacando-se valores máximos de 0,75 %Ro e 0,85 %Ro nas pseudo-sondagens A e C, respectivamente (unidade 5) e um novo valor de 0,85 %Ro na pseudo-sondagem D (unidade 4).

Já o rácio de transformação das “*black shales*” do Albiano nunca ultrapassa os 5%, destacando-se os valores máximos de 40% para as unidades 5 e 4 nas pseudo-sondagens C e D, respectivamente.

---

# CAPÍTULO V

---

## CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

---

## A. Conclusões

É esperado que o desenvolvimento desta dissertação para contribuir para a evolução do conhecimento relativamente ao *deep offshore* da MOI ao largo de Viana do Castelo, Porto e Figueira da Foz, englobando informação referente às Bacias do Porto e Peniche, à Planície Abissal Ibérica e, segundo alguns autores, à Bacia Interior da Galiza. Nesta evolução de conhecimento destaca-se a evolução da maturação das “*black shales*” do Albiano, consideradas como um potencial intervalo de geração de hidrocarbonetos da área de estudo.

A utilização de uma metodologia simples mas com componentes diversificados, desde relatórios de poço, interpretação sísmo-estratigráfica, geoquímica orgânica e modelação térmica, permite integrar todo o conhecimento científico-académico na análise efectuada.

Esta dissertação permitiu concluir uma série de questões sobre as quais existiam algumas dúvidas ou que eram parcialmente desconhecidas:

- I. A evolução das bacias presentes na área de estudo é fortemente condicionada pela tectónica e pelas variações eustáticas e climáticas, responsáveis pelo controlo deposicional a menor escala;
- II. Os alinhamentos preferenciais das bacias estão relacionados com as direcções das falhas compressivas tardi-Hercínicas e, como tal, pode-se afirmar que a morfologia desta margem parece ser controlada pelos padrões tardi-Hercínicos;
- III. A área de estudo possui alguma complexidade estrutural, envolvendo eventos extensionais do Triásico ao Cretácico Inferior e eventos compressivos após o Cretácico Superior. Estes eventos são visíveis na sísmica apesar da fraca qualidade do sinal nos domínios mais profundos;
- IV. Observaram-se várias estruturas diapíricas abaixo do Jurássico Superior na zona SE da área de estudo, encontrando-se melhor desenvolvidos na MPE;
- V. A subsidência não é uniforme em toda a área de estudo, sendo mais regular na MPI e MPE e aumentando na MD, à medida que se avança para Oeste. Quanto às taxas de sedimentação, estas são muito elevadas entre o Albiano e o Cenomaniano comparativamente aos restantes intervalos cronológicos analisados a partir do Jurássico;
- VI. Tal como a subsidência, também os factores de estiramento são crescentes à medida que avançamos para Oeste, variando entre um máximo de 3,5 e um mínimo de 2;
- VII. Só numa das sondagens *IODP* realizadas na área de estudo se observam as “*black shales*”. Para além disso, esta só nos fornece informação segura junto à concessão Camarão uma vez que na restante área de estudo a malha é demasiado espaçada e não permite definir os horizontes com a precisão desejada;

- 
- VIII. A actividade tectónica extensional termina no evento de *breakup* no Aptiano/Albiano, iniciando-se a verdadeira fase de pós-rifte, na qual os pacotes sismo-estratigráficos se distribuem de forma genericamente tabular, o que sugere um fraco controlo tectónico sobre a sedimentação;
- IX. As unidades pós-rifte depositaram-se após o evento de *breakup* continental entre a Ibéria e a Terra Nova, no topo do Aptiano. Estas unidades constituem a *Breakup Sequence* e contêm as “*black shales*” do Albiano, apresentando uma geometria tabular de amplitude variável e continuidade reduzida a moderada, cobrindo uniformemente os depósitos sin-rifte, verificando-se algumas cunhas de crescimento sedimentar a irem de encontro às falhas normais situadas em zonas de sopé continental;
- X. Uma vez que o objectivo deste trabalho é a avaliação do potencial gerador das “*black shales*” do Cretácico e visto que estas não se observam nas sondagens realizadas na Bacia do Porto onde o seu equivalente é a Formação de Torres Vedras, não houve qualquer possibilidade de estabelecer uma correlação estratigráfica entre as sondagens da Bacia do Porto e as sondagens *IODP*;
- XI. Existem vários riscos e incertezas relacionados com a presença e qualidade das “*black shales*” em toda a área de estudo, uma vez que estas só se observaram no *site DSDP* 47-398 e mesmo neste não se observaram indícios de hidrocarbonetos;
- XII. A continuidade e a geometria das “*black shales*” foi conseguida através da interpretação sismo-estratigráfica da *Breakup Sequence*, permitindo a identificação dos locais mais propícios a que haja maturação desta unidade. A interpretação sísmica indicou uma boa distribuição regional da *Breakup Sequence*, logo, deverá ser igualmente indicadora de uma boa distribuição das “*black shales*” do Albiano;
- XIII. As amostras de “*black shales*” mostram a existência de um querógeno dos tipos II e III, embora com um grande predomínio do tipo III devido à forte presença de plantas terrestres superiores, remetendo para a possível geração de gás. A grande quantidade de matéria orgânica terrígena presente nestes sedimentos deve-se muito provavelmente ao *input* sedimentar de grandes deltas presentes em ambas as margens do Atlântico durante o Cretácico Inferior;
- XIV. Olhando para os valores de *TOC* das “*black shales*” do Albiano podemos afirmar que estas se podem considerar como possíveis rocha geradoras de potencial razoável a bom. Já os valores de *HI* mostram que estas não deverão gerar qualquer composto. Também os valores de *Tmax* medidos nas “*black shales*” do Albiano remetem para um estágio evolutivo imaturo que foi confirmado através da modelação térmica das pseudo-sondagens;



- 
- XV. As “*black shales*” do Albiano não devem ser consideradas como potenciais rochas geradoras, quer devido à sua complexidade deposicional, quer devido ao facto de estas serem constituídas por material retrabalhado e oxidado;
- XVI. Apenas os intervalos de idade Jurássica se encontram na janela de maturação de hidrocarbonetos e, embora não lhes seja reconhecido qualquer potencial gerador nas sondagens *IODP* presentes na MD, estes foram considerados como potenciais rochas geradoras em diferentes trabalhos realizados nas Bacias Lusitânica, Bacia do Porto e Bacia de Peniche. Esses intervalos Jurássicos possivelmente maturados foram encontrados nas *pseudo-wells* A, C e D e, embora a *pseudo-well* A se encontre na MD e não deva ter qualquer potencial petrolífero uma vez que os sedimentos Jurássicos recolhidos nas sondagens *IODP* não tinham qualquer potencial como rochas geradoras, já as restantes (C e D) localizam-se na zona Este da MPE, pelo que estas deverão ter algum potencial petrolífero como foi já referido em trabalhos anteriores;

## B. Trabalhos Futuros

Os métodos utilizados neste trabalho, apesar de básicos, são muito importantes no estudo de bacias sedimentares, particularmente na avaliação da evolução térmica de bacias sedimentares com potencial petrolífero, como as Bacias Lusitânica, Bacia do Porto ou Bacia de Peniche.

Como foi já referido, este trabalho teve algumas limitações devido à ausência de sondagens na MPE e à reduzida malha sísmica. Apesar de ser pouco provável que em breve se realizem novas sondagens nesta área, aconselha-se a aplicação desta metodologia a um maior número de sondagens uma vez que apenas uma das modelações se aplicou a uma sondagem real. Aconselha-se também que se interpretem mais linhas sísmicas, uma vez que a malha é muito pequena. Isso pode ser feito através da interpretação sismo-estratigráfica de linhas sísmicas da ISE, da NESTE e da CAM que não foram interpretadas neste trabalho pois não houve acesso ao seu formato digital. Este acréscimo de informação, quer de sondagens, quer de sísmica presentes na MPE poderia permitir uma correlação entre as sondagens realizadas na Bacia do Porto e as sondagens *IODP* presentes na MD da área de estudo.

Recomenda-se também a realização de estudos mais aprofundados sobre os fluxos de calor uma vez que estes se baseiam em factores de estiramento regionais e em fases de *rifting* aproximadas às bacias do Porto e de Peniche. Finalmente, devem ser integrados conhecimentos relativos aos eventos erosivos na área de estudo pois esta informação não foi tomada em consideração neste trabalho por falta de dados e permitiria constranger os parâmetros da modelação.

---

De forma a melhor avaliar a maturação da área de estudo, seria importante a realização de uma modelação térmica 2D através da utilização de linhas sísmicas da MPI, onde existe controlo de poços, para as áreas mais profundas e desconhecidas como a MPE e a MD. Em última análise seria também aconselhável a realização de modelos tridimensionais através da interpretação de malhas apertadas de linhas sísmicas, permitindo uma melhor identificação dos sectores com maior potencial petrolífero.

Espera-se que o desenvolvimento exploratório no *shallow offshore* da MOI resulte na realização de campanhas de aquisição sísmica tridimensionais de modo a mapear com mais rigor as geometrias de cada unidade, permitindo a realização de uma modelação térmica 3D. Como foi já referido, era também importante que se realizassem mais poços exploratórios na Bacia do Porto e no *deep offshore* da Bacia de Peniche pois estas permitiriam um aumento significativo do conhecimento das sequências litostratigráficas presentes nas bacias da MOI.

Finalmente, sugere-se a aplicação de uma metodologia idêntica para as unidades Jurássicas, que deverá centrar-se nas sondagens realizadas no *shallow-offshore* e não no *deep-offshore* onde estas parecem perder potencial petrolífero uma vez que não lhes é reconhecido qualquer potencial gerador nas sondagens *IODP* presentes na MD.

---

## Referências bibliográficas

- Alves, L.S. (2012) – Estudo da margem continental ibérica ocidental com base em dados gravimétricos e magnetométricos regionais. Tese de Doutorado (n. publ.), Centro de Tecnologia e Ciências, Faculdade de Geologia, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*, 133 p.
- Alves, T., Gawthorpe, R.L., Hunt, D.W. & Monteiro, J.H. (2002) – Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (offshore Portugal). *Marine and Petroleum Geology*, **19**, 727-754.
- Alves, T., Manuppella, G., R. L. Gawthorpe, R.L., Hunt, D.W. & Monteiro, J.H. (2003) - Post-Jurassic tectono-sedimentary evolution of the Northern Lusitanian Basin (western Iberian margin). *Basin Research*, **15**, 227-249.
- Alves, T., Gawthorpe, R.L., Hunt, D.W. & Monteiro, J.H. (2003a) – Cenozoic tectono-sedimentary evolution of the western Iberian margin. *Marine Geology*, **195**, 75-108.
- Alves, T., Manuppella, G., R. L. Gawthorpe, R.L., Hunt, D.W. & Monteiro, J.H. (2003b) - The depositional evolution of diapir and fault-bounded rift basins: Examples from the Lusitanian basin of west Iberia: *Sedimentary Geology*, **162**, 273– 303.
- Alves, T., Moita, C., Sandnes, F., Cunha, T., Monteiro, J.H., Pinheiro, L.M. (2006) - Meso-Cenozoic Evolution of North Atlantic Continental-Slope Basins: the Peniche basin, Western Iberian Margin. *AAPG Bulletin*, **90**(1), 31-60.
- Alves, T., Moita, C., Cunha, T., Ullnaess, M., Myklebust, R., Monteiro, J.H., Manuppella, G. (2009) - Diachronous evolution of Late Jurassic-Cretaceous continental rifting in the northeast Atlantic (west Iberian margin). *Tectonophysics*, **28**, TC4003, 32 p.
- Arthur, M. A. (1979) - North Atlantic Cretaceous black shales: the record at site 398 and a brief comparison with other occurrences. In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP*, 47(2). Washington (U.S. Government Printing Office), 719-751.
- Basov, V. A., Lopatin, B. G., Gramberg, I. S., Danjushevskaya, A. I., Kanban'kov, V. Y., Lazurkin, V. M., Patrunov, D. K. (1979) - Lower Cretaceous lithostratigraphy near Galicia Bank. In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP*, 47(2). Washington (U.S. Government Printing Office), 683-701.
- Boillot, G., Auxietre, J.L., Dunand, J.P., Dupeuble, P.A. & Mauffret, A. (1979) – The northwestern Iberian margin: A Cretaceous passive margin deformed during Eocene. Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margins and Paleoenvironment. Washington, DC: AGU, **3**, 138-153.
- Boillot, G., Griumaud, S., Mauffret, A., Mougénot, D., Kornprobst, J., Mergoïl-Daniel, J. & Torrent, G. (1980) – Ocean-continent boundary off the Iberian margin: A serpentinite diapir west of the Galicia Bank. *Earth and Planetary Science Letters*, **48**, 23-34.
- Boillot, G., Winterer, E. L., Meyer, A. W. et al. (1987b) - *Proc. ODP, Init. Reports*, **103**. College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Boillot, G., et al. (1988) - *Proc. ODP, Sci. Results*, **103**, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Boillot, G. & Malod, J. (1988) - The north and northwest Spanish continental margin: a review. *Rev. Soc. Geol. España*, **1**, 295-316.

---

Boillot, G., Beslier, M. O. & Girardeau, J. (1995) - Nature, Structure and Evolution of the Ocean-Continent Boundary: The Lesson of the West Galicia Margin (Spain). In: Banda, E., Torné, M. & Talwani, M. (eds.) *Rifted Ocean-Continent Boundaries*. Springer Verlag, Netherlands, **463**, 219-229.

Bronner, A., Sauter, D., Manatschal, G., Peron-pinvidic, G. & Munschy, M. (2011) - Magmatic breakup as an explanation for magnetic anomalies at magma-poor rifted margins. *Nature Geoscience*, **4**, 549-553.

Casacão, J. (2015) - Tectono-estratigrafia e modelação de sistemas petrolíferos da Bacia do Porto. Tese de Mestrado, *Universidade de Lisboa*, 200 p.

Capdevilla, R., & Mougenot, D. (1988) - Pre-Mesozoic basement of the western Iberian continental margin and its place in the Variscan belt. In: Boillot, G., et al. (eds.) *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **103**, 3– 12.

Catuneanu, O. (2006) – Principles of sequence stratigraphy. *Elsevier*, 375 p.

Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J. P., Blum, M. D., Dalrymple, R. W., Eriksson, P. G., Fielding, C. R., Fisher, W. L., Galloway, W. E., Gibling, M. R., et al., (2009) - Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, **92**, 1-33.

Chamley, H., Debrabant, P., J. Foulon, D'argoud, G. G., Latouche, C., Maillet, N., Maillot, H. & Sommer, F. (1979) - Mineralogy and Geochemistry of Cretaceous and Cenozoic Atlantic Sediments off the Iberian Peninsula (Site 398, DSDP Leg 47B). In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP*, **47(2)**. Washington (U.S. Government Printing Office), 429-449.

Cloetingh, S., Tankard, A. J., Welsink, H. J. & Jenkins, W. A. (1989) - Vail's coastal onlap curves and their correlation with tectonic events, offshore eastern Canada In: J., T. A. & Balkwill, H. R. (eds.) *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins*. AAPG Memoir, **46**, 283-293.

Cornford, C. (1979) - Organic petrography of Lower Cretaceous shales at DSDP Leg 47B Site 398, Vigo Seamount, eastern North Atlantic. In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP*, **47(2)**. Washington (U.S. Government Printing Office), 523-527.

Cunha, T. (2008) - Gravity anomalies, flexure, and the thermo-mechanical evolution of the West Iberia Margin and its conjugate of Newfoundland. PhD., *Oxford University*, 398 p.

Deroo, G., Graciansky, P. C., Habib, D. & Herbin, J.-P. (1978) - L'origine de la matière organique dans les sédiments crétaçés du site IPOD 398 (haut-fonf de Vigo): corrélations entre les données de la sédimentologie, de la géochimie organique et de la palynologie. *Bull. Soc. Géol. France*, **20**, 465-469.

Deroo, G., Herbin, J.-P., Roucaché, J. & Tissot, B. (1979) - Organic Geochemistry of Cretaceous Shales from DSDP Site 398, Leg 47B, Eastern North Atlantic. In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP*, **47(2)**. Washington (U.S. Government Printing Office), 513-522.

Doerenkamp, A., Robert, P. (1979) - Optical study of organic matter from some samples of Cretaceous age, Leg 47B, Hole 398D. In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP*, **47(2)**. Washington (U.S. Government Printing Office), 529-531.

GPEP (1986) – The petroleum potential of Portugal. Lisboa, *Gabinete para a Pesquisa e Exploração de Petróleo*, 62 p.

Graciansky, P. C., Chenet, P. Y. (1979) - Sedimentologic Study of Cores 138 to 56 (Upper Hauterivian to Middle Cenomanian) an Attempt at Reconstruction of Paleoenvironments. In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP*, **47(2)**. Washington (U.S. Government Printing Office), 403-418.

---

Gradstein, F. M., Ogg, J. G., SMITH, A. G. (2005) - A Geologic Time Scale 2004. *Cambridge University Press*.

Groupe Galice (1979) - The continental margin off Galicia and Portugal: Acoustical stratigraphy, dredge stratigraphy and structural evolution. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 633-662.

Habib, D. (1979) - Sedimentology of palynomorphs and palynodebris in Cretaceous carbonaceous facies south of Vigo seamount. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 451-467.

Hantschel, T. & Kauerauf, A.I. (2009) – Fundamentals of Basin and Petroleum Systems Modeling. *Springer Verlag*, Berlin, 485 p.

Haq, B. U., Hardenbol, J. & Vail, P. R. (1987) – Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic. *Science*, **235**, 1156-1167.

Hiscott, R. N., Wilson, R. C. L., Gradstein, F. M., Pujalte, V., García-Mondéjar., Boudreau, R. R., Wishart, H. A. (1990) - Comparative stratigraphy and subsidence history of Mesozoic rift basins of North Atlantic. *AAPG Bull.*, **74**(1), 60-76.

Hood, A. and Castano, J.R. (1974) - Organic metamorphism: Its relationship to petroleum generation and application to studies of authigenic minerals. *CCOP Tech. Bull.*, **8**, 85-118.

Jeannot, L., Kuszniir, N., Mohn, Geoffroy., Manatschal., G., Cowie, L. (2016) - Constraining lithosphere deformation modes during continental breakup for the Iberia – Newfoundland conjugate rifted margins. *Tectonophysics*, **680**, 28-49.

Kendrick, J.W., Hood, A., Castaño, J.R. (1979) - Petroleum-generating potential of sediments from Leg 47, Deep Sea Drilling Project. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 547–551.

Kullberg, J.C.R. (2000) – Evolução tectónica Mesozóica da Bacia Lusitaniana. Tese de Douturamento (n. publ.), *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal, 280 p.

Kullberg, J.C.R., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P., Martins, L. (2006) – A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. *In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P & Kullberg, J.C.R. (eds.) Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Univ. Évora, 317-368.

Kyrkjebø, R., Gabrielsen, R. H., Faleide, J.I. (2004) - Unconformities related to the Jurassic-Cretaceous synrift-post-rift transition of the northern North Sea. *J. Geol. Soc. (Lond.)* **161**, 1-17.

LAVIER, L. L. & MANATSCHAL, G. (2006) - A mechanism to thin the continental lithosphere at magma-poor margins. *Nature*, **440**, 324-328.

Leinfelder, R. R., & Wilson, R. C. L. (1998) - Third-order sequences in an Upper Jurassic rift-related second-order sequence, central Lusitanian basin, Portugal. *In: Graciansky, P. C., Hardenbol, J., Jacquin, T. & Vail, P. R. (eds.) Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins. SEPM Special Publication*, **60**, 507–525.

NESTE (1990) - Final Well Report Lima-1. *DPEP (Divisão para a Pesquisa e Exploração de Petróleo)*, Portugal.

---

Magoon, L.B. & Dow, W.G. (1994) – The Petroleum System – From source to trap. *AAPG Memoir*, **60**, 3-24.

Maldonado, A. (1979) - Upper Cretaceous and Cenozoic depositional processes and facies in the distal North Atlantic continental margin off Portugal, DSDP site 398. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 451-468.

Manatschal, G. & Bernoulli, D. (1998) – Rifting and early evolution of ancient ocean basins: The record of the Mesozoic Tethys and of the Galicia-Newfoundland margins, *Mar. Geophys. Res.*, **20**, 371-381.

Manatschal, G., Müntener, O., Lavier, L. L., Minshull, T. A., Péron-pinvidic, G. (2007) - Observations from the Alpine Tethys and Iberia-Newfoundland margins pertinent to the interpretation of continental breakup. *In: Karner, G. D., Manatschal, G., Pinheiro, L. M. (eds.) Imaging, Mapping and Modelling Continental Lithosphere Extension and Breakup. London: Geological Society Special Publications*, **282**, 291-324.

Mitchum, R. M., Vail, P. R., Sangree, J. B. (1977) - Seismic stratigraphy and global changes in sea level. Part 6. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. *In: Payton, C.E. (ed.) Seismic Stratigraphy - applications to hidrocarbon exploration. AAPG Memoir*, **26**, 117-133.

Moita, C., Pronk, E., Pacheco, J. (1996) - Porto Basin: Seismic interpretation report MILUPOBAS Project, EU Contract JOU2-CT94-0348, 47 p.

Montadert, L., Winnock, E., Delteil, J.R. & Grau, G. (1974) – Portugal and Bay of Biscay. *In: Burk, C.A. & Drake, C.L. (eds.) The Geology of Continental Margins. Springer Verlag, New York*, 323-342.

Montenat, C., Guery, F., Jamet, M. & Berthou, P. Y. (1988) – Mesozoic evolution of the Lusitanian Basin: comparison with the adjacent margin. *In: Boillot, G., et al. (eds.) Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **103**, 757-775.

Murillas, J., Mougnot, D., Boulot, G., Comas, M. C., Banda, E., Mauffret, A. (1990) - Structure and evolution of the Galicia Interior Basin (Atlantic western Iberian continental margin). *Tectonophysics*, **184**, 297-303, 305, 307-319.

Payton, C.E. (1977) – Seismic stratigraphy – Applications to hydrocarbon exploration. Tulsa, Oklahoma, USA. *AAPG*, **26**, 516 p.

Pena dos Reis, R. & Pimentel, N.L. (2010) – Sistemas Petrolíferos no on-shore da Bacia Lusitânica – uma visão geológica integradora. *In: “Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História”, Associação Portuguesa Geólogos*, **2 (1)**, 143-156.

Pereira, R. & Alves, T. (2011) – Margin segmentation prior to continental break-up: a seismic-stratigraphic record of multiphased rifting in the North Atlantic (Southwest Iberia). *Tectonophysics*, **505**, 17-34.

Péron-pinvidic, G., Manatschal, G., Minshull, T. A., Sawyer, D. S. (2007) - Tectonosedimentary evolution of the deep Iberia-Newfoundland margins: Evidence for a complex breakup history. *Tectonics*, **26**, TC2011.

Peters, K.E. & Cassa, M.R. (1994) – Applied Source Rock Geochemistry. *In: Magoon, L.B, Dow, W.G. (eds.) The Petroleum System – From Source to Trap. AAPG Memoirs*, **62**, 93-120

Pinheiro, L.M., Wilson, R.C.L., Reis, R.P., Whitmarsh, R.B. & Ribeiro, A. (1996) – The western Iberian margin: A geophysical and geological overview. *In: Whitmarsh, R. B., et al. (eds.) Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **149**, 3-23.

---

Rasmussen, E.S., Lomholt, S., Andersen, C. & Vejbaek, O.V. (1998) – Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics*, **300**, 199-225

Réhault, J.-P. & Mauffret, A. (1979) - Relations between tectonics and sedimentation around the northwestern Iberian margin. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 663-681.

Rey, J., Dinis, J.H., Callapez, P. & Cunha, P.P. (2006) – Da rotura continental à margem passiva. Composição e evolução do Cretácico de Portugal. Cadernos de Geologia de Portugal, *INETI*, Lisboa, 71 p.

Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Almeida, F.M., Carvalho, D. & Monteiro, J.H. (1979) – Introduction à la Géologie Générale du Portugal. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 114 p.

Robinson, S. A., Murphy, D. P., Vance, D. & Thomas, D. J. (2010) - Formation of “Southern Component Water” in the Late Cretaceous: Evidence from Nd-isotopes. *Geology*, **38**, 871-874.

Ronov, A.B. (1958) – Organic carbon in sedimentary rocks (in relation to the presence of petroleum). *Geokhimiya*, **5**, 510-536.

Russell, S.M. & Whitmarsh, R. B. (2003) - Magmatism at the west Iberia non volcanic rifted continental margin: evidence from analyses of magnetic anomalies. *Geophysical Journal International*, **154**, 706-730.

SALÉN/PECTEN (1985) - Final Well Report Lula-1. *DPEP (Divisão para Pesquisa e Exploração de Petróleo)*, Portugal.

Sawyer, D. S., Whitmarsh, R. B., Klaus, A., Beslier, M. O., Collins, E. S. (1994) - *Proc. ODP, Init. Reports, 149*, College Station, TX (Ocean Drilling Program).

Shipboard scientific party (1979) - Site 398. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 25-233.

Sibuet, J. C. & Berthois, L. (1979) - Dominant structural trends on the western continental margin of Iberia : implications on initial rifting. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 289-296.

Sibuet, J. C. & Ryan, W. B. F. (1979) - Site 398: Evolution of the West Iberian Passive Continental Margin in the Framework of the Early Evolution of the North Atlantic Ocean. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 761-775.

Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al. (1979) - Geophysical data collected underway on glomar challenger, leg 47B. *In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office), 297-305.

Sibuet, J.-C., Srivastava, S. & Manatschal, G. (2007b) - Exhumed mantle-forming transitional crust in the Newfoundland-Iberia rift and associated magnetic anomalies. *J. Geophys. Res.*, **112**, p. B06105.

Sibuet, J.-C. & Tucholke, B. E. (2012) - The geodynamic province of transitional lithosphere adjacent to magma-poor continental margins. *In: Mohriak, W. U., Danforth, A., Post, P. J., Brown, D. E., Tari, G. C., Nemčok, M. & Sinha, S. T. (eds.) Conjugate Divergent Margins* Geological Society, London, Special Publications, **369**, 429– 452.



---

Sigal, J. (1979) - Chronostratigraphy and Ecostratigraphy of Cretaceous Formations Recovered on DSDP Leg 47B, Site 398. In: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP*, 47(2). Washington (U.S. Government Printing Office), 287-326.

Soares, D. M., Alves, T. M., Terrinha, P. (2012) - The breakup sequence and associated lithospheric breakup surface: Their significance in the context of rifted continental margins (West Iberia and Newfoundland margins, North Atlantic). *Earth and Planetary Science Letters*, 355-356, 311-326.

Soares, D. M. (2014) - Sedimentological and stratigraphical aspects of the syn- to post-rift transition on fully separated conjugate margins. Tese de Doutoramento, *Cardiff University*, 292 p.

Soares, D. M., Alves T. M., Terrinha, P. (2014) - Contourite drifts on early passive margins as indicators of established lithospheric breakup. *Earth and Planetary Science Letters*, **401**, 116-131.

Srivastava, S. P., Sibuet, J. C., Cande, S., Roest, W. R. & Reid, I. D. (2000) - Magnetic evidence for slow seafloor spreading during the formation of the Newfoundland and Iberian margins. *Earth and Planetary Science Letters*, **182**, 61-76.

Stapel, G., Cloetingh, S. & Pronk, B. (1996) – Quantitative subsidence analysis of the Mesozoic evolution of the Lusitanian Basin (western Iberia margin). *Tectonophysics*, **266**, 493-507.

Sweeney, J.J. & Burnham, A.K. (1990) – Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics. *AAPG Bulletin*, **74** (10), 1559-1570.

TAURUS PETROLEUM AB (1995) - Final Well Report Touro-1. *DPEP (Divisão para Pesquisa e Exploração de Petróleo)*, Portugal.

Teixeira (2012) – Modelação da subsidência, evolução térmica e maturação de intervalos geradores do Jurássico na Bacia Lusitânica. Tese de Mestrado, *Universidade de Lisboa*. 132 p.

TEXACO, 1979. Final Well Report Cavala-4. *DPEP (Divisão para Pesquisa e Exploração de Petróleo)*, Portugal.

Tissot, B.P. & Welte, D.H. (1984) – Petroleum Formation and Occurrence. *Springer Verlag*, Berlin, 699 p.

Tucholke, B. E. & Vogt, P. R. (1979) - Western North Atlantic: Sedimentary evolution and aspects of tectonic history. In: Tucholke, B. E., Vogt, P. R. & et al. (eds.) *Init. Rep. DSDP*, 43. Washington (U.S. Government Printing Office), **43**, 791-825.

Tucholke, B. E., Austin, J. A. & Uchupi, E. (1989) - Crustal Structure and Rift-Drift Evolution of the Newfoundland Basin. In: J., T. A. & Balkwill, H. R. (eds.) *Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins*. *AAPG Memoir*, **46**, 247- 263.

Tucholke, B. E., Sibuet, J.-C., Klaus, A., et al. (2004) - *Proc. ODP, Init. Reports*, 210, College Station, TX (Ocean Drilling Project)

Tucholke, B. E., Sawyer, D. S., Sibuet, J.C. (2007a) - Breakup of the Newfoundland-Iberia rift. In: Karner, G. D., Manatschal, G., Pinheiro, L. M. (eds.) *Imaging, Mapping and Modelling Continental Lithosphere Extension and Breakup*. London: *Geological Society Special Publications*, **282**, 9-46.

von Rad, U., & Einsele, G. (1980) - Mesozoic-Cenozoic subsidence history and palaeobathymetry of the north-west African continental margin (Aaiun Basin to DSDP 397). The Evolution of Passive Continental Margins. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **294**, 37-50.

- 
- von Rad, U., Ryan, W. B. F., Sibuet, J.C. (2004) - Carbon analysis of Hole 47-398D. *In*: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office).
- von Rad, U., Ryan, W. B. F., Sibuet, J.C. (2005) - Sound velocity of Hole 47-398D. *In*: Sibuet, J. C., Ryan, W. B. F. et al., (eds.) *Init. Rep. DSDP, 47(2)*. Washington (U.S. Government Printing Office).
- Whitmarsh, R. B., Miles, P. R. (1995) - Models of the development of the West Iberia rifted continental margin at 40°30'N deduced from surface and deep-tow magnetic anomalies. *Journal of Geophysical Research*, **100**, 3789-3806.
- Whitmarsh, R. B., Sawyer, D. S., Klaus, A., Masson, D. G. (1996) - *Proc. ODP, Sci. Results, 149*, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Whitmarsh, R. B., Beslier, M. -O., Wallace, P. J. et al. (1998) - *Proc. ODP, Init. Reports, 173*, College Station, TX (Ocean Drilling Project).
- Whitmarsh, R. B., & Wallace, P. J. (2001) - The rift-to-drift development of the West Iberia nonvolcanic margin: a summary and review of the contribution of Ocean Drilling Project Leg 173. *In*: Beslier, M. -O., Whitmarsh, R. B., Wallace, P. J., Girardeau, J. (eds.) *Proc. ODP, Sci. Results, 173*. College Station TX (Ocean Drilling Project), 1-3.
- Wilson, R. C. L. (1975) - Atlantic opening and Mesozoic continental margin basins of Iberia. *Earth and Planetary Science Letters*, **25**, 33-43.
- Wilson, R. C. L. (1988) - Mesozoic development of the Lusitanian Basin, Portugal. *Rev. Soc. Geol. España*, **1**, p. 393-407.
- Wilson, R. C. L., Hiscott, R. N., Willis, M. G., Gradstein, F. M. (1989) – The Lusitanian basin of west-central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphy, and subsidence history. *In*: Tankard, A. J. & Balkwill, H. R. (eds.) *Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins. AAPG Memoir*, **40**, 341-361.
- Witt, W.G. (1977) – Stratigraphy of the Lusitanian Basin: Shell Prospex Portuguesa (n. publ.), 61 p.
- Wygrala, B.P. (1989) – Integrated study of an oil field in the southern Po basin, northern Italy. Tese de Doutorado (n. publ.), Centro de Investigação Nuclear Juelich 2313, Universidade de Colónia, Alemanha, 217 p.

# Anexos

Tabela A 1: *Input* digital das sondagens *ODP* e *DSDP* da área de estudo no *software* Landmark Decision Space.

* UWI	Total Depth (m)	Well Name	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	X Lon	Y Lat	Water Depth (m)
S1070	658.37	ODP	185813.55932	4522899.204429	-12.7238	40.7963	6052
S1069	959.3	ODP	265447.35541	4512229.777623	-11.7772	40.7269	5075
S1068	893.13	ODP	279254.74139	4506882.911173	-11.612	40.6826	5044
S1067	763.8	ODP	280623.64981	4506831.216728	-11.5958	40.6825	5021
S1065	631.4	ODP	306133.99236	4510742.789408	-11.2954	40.7241	4770
S900	748.9	ODP	279915.97883	4506929.949670	-11.6042	40.6832	5037
S899	549.9	ODP	224203.48178	4518709.220882	-12.2677	40.7724	5291.0
S898	339.7	ODP	236069.09229	4508459.747712	-12.1230	40.6841	5632.0
S897	693.8	ODP	207081.02610	4526752.088276	-12.474	40.8388	5320.0
S398	1740.0	DSDP	355391.34541	4535817.355075	-10.7183	40.96	3920.0

Tabela A 2: Modelos de velocidade de todas as sondagens *ODP* e *DSDP* da área de estudo.

DSDP 47-398			ODP 149-897			ODP 149-899			ODP 149-900		
Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)	Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)	Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)	Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)
0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0		0.0	0.0	
373.0	408.0	0.91421	324.0	380.0	0.85263	82.0	102.0	0.80392	10.0	13.42	0.74515
662.0	708.0	0.96333	649.0	704.0	1.00308	364.0	424.0	0.87577	180.0	216.0	0.83917
862.0	902.0	1.03092	678.0	720.0	1.8125	390.0	437.0	2.0	240.0	286.4	0.85227
945.0	991.0	0.93258	ODP 149-898			558.0	504.0	2.50746	340.0	394.0	0.92936
1260.0	1290.0	1.05351	Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)	ODP 173-1068			460.0	516.0	0.98360
1401.0	1406.0	1.21551	0.0	0.0		Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)	730.0	741.0	1.2
1440.0	1434.5	1.36842	163.0	216.0	0.75462	0.0	0.0		749.0	747.0	3.16666
1534.0	1512.0	1.21290	340.0	424.0	0.85096	10.0	13.42	0.74515	ODP 173-1069		
1620.0	1576.4	1.33540	ODP 173-1067			180.0	216.0	0.83917	Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)
1677.0	1617.8	1.37681	Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)	240.0	286.4	0.85227	0.0	0.0	
1740.0	1655.8	1.65789	0.0	0.0		340.0	394.0	0.92936	373.0	408.0	0.91421
ODP 173-1065			10.0	13.42	0.74515	460.0	516.0	0.98360	662.0	708.0	0.96333
Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)	180.0	216.0	0.83917	721.0	724.0	1.25480	767.0	792.0	1.25
0.0	0.0		240.0	286.4	0.85227	745.0	739.0	1.6	846.0	860.5	1.15328
10.0	13.42	0.745156	340.0	394.0	0.92936	756.0	744.9	1.86439	867.0	877.3	1.25000
180.0	216.0	0.839174	460.0	516.0	0.98360	771.0	754.0	1.64835	893.0	887.3	2.6
240.0	286.4	0.852272	658.0	680.0	1.20731	795.0	774.0	1.2	ODP 173-1070		
251.0	297.7	0.973449	679.0	690.5	2.0	809.0	782.2	1.70731	Depth (m)	Time (ms)	Velocity (m/ms)
309.0	355.5	1.003460	706.0	713.0	1.2	834.0	804.0	1.14678	0.0	0.0	
502.0	496.0	1.373665	717.0	716.85	2.85716	848.0	812.0	1.75	324.0	380.0	0.852631
631.0	599.0	1.252427	764.0	756.0	1.20051	893.0	830.0	2.5	640.0	717.0	0.937685
									658.0	727.0	1.8

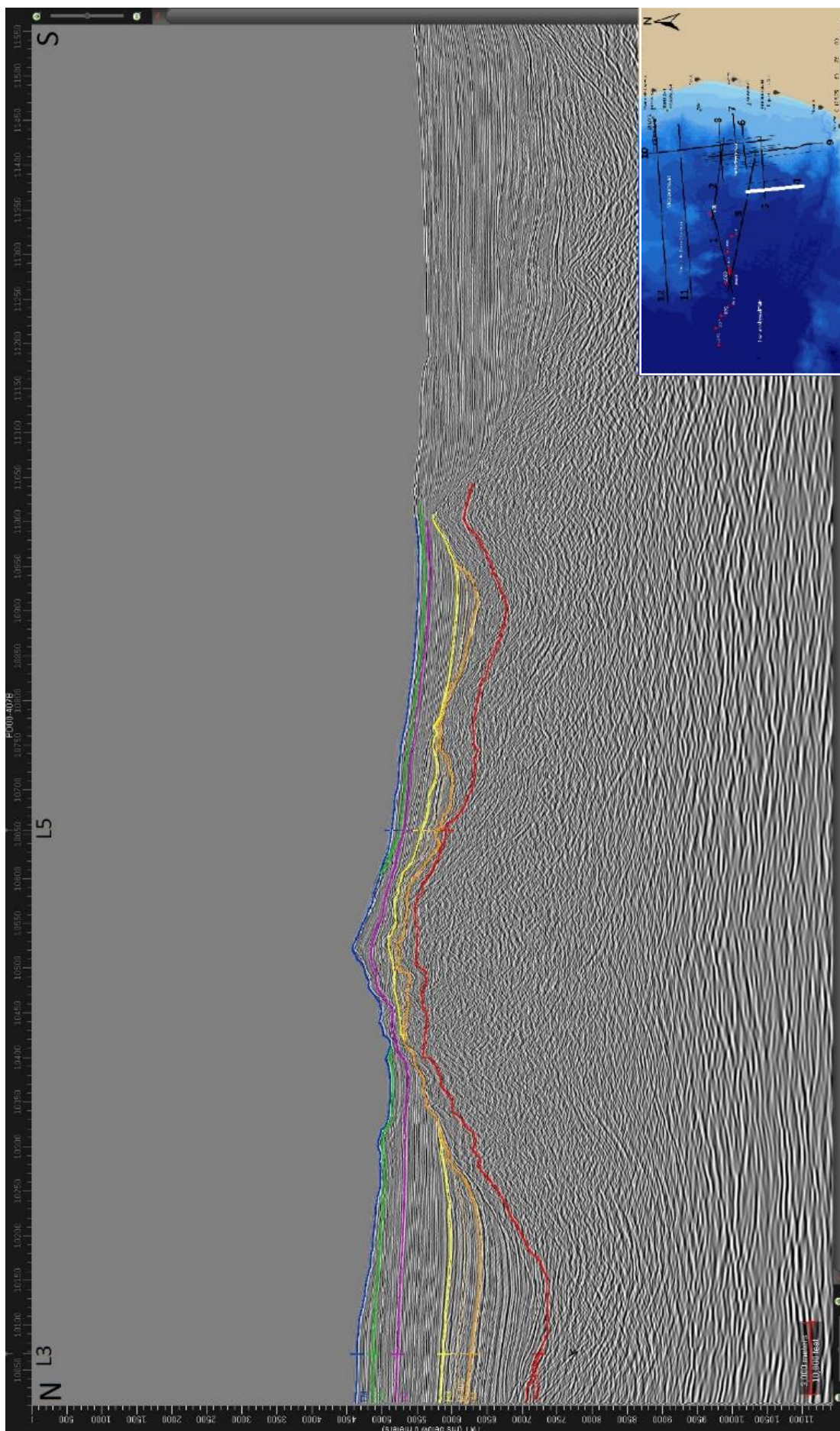


Figura A 1: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 4.



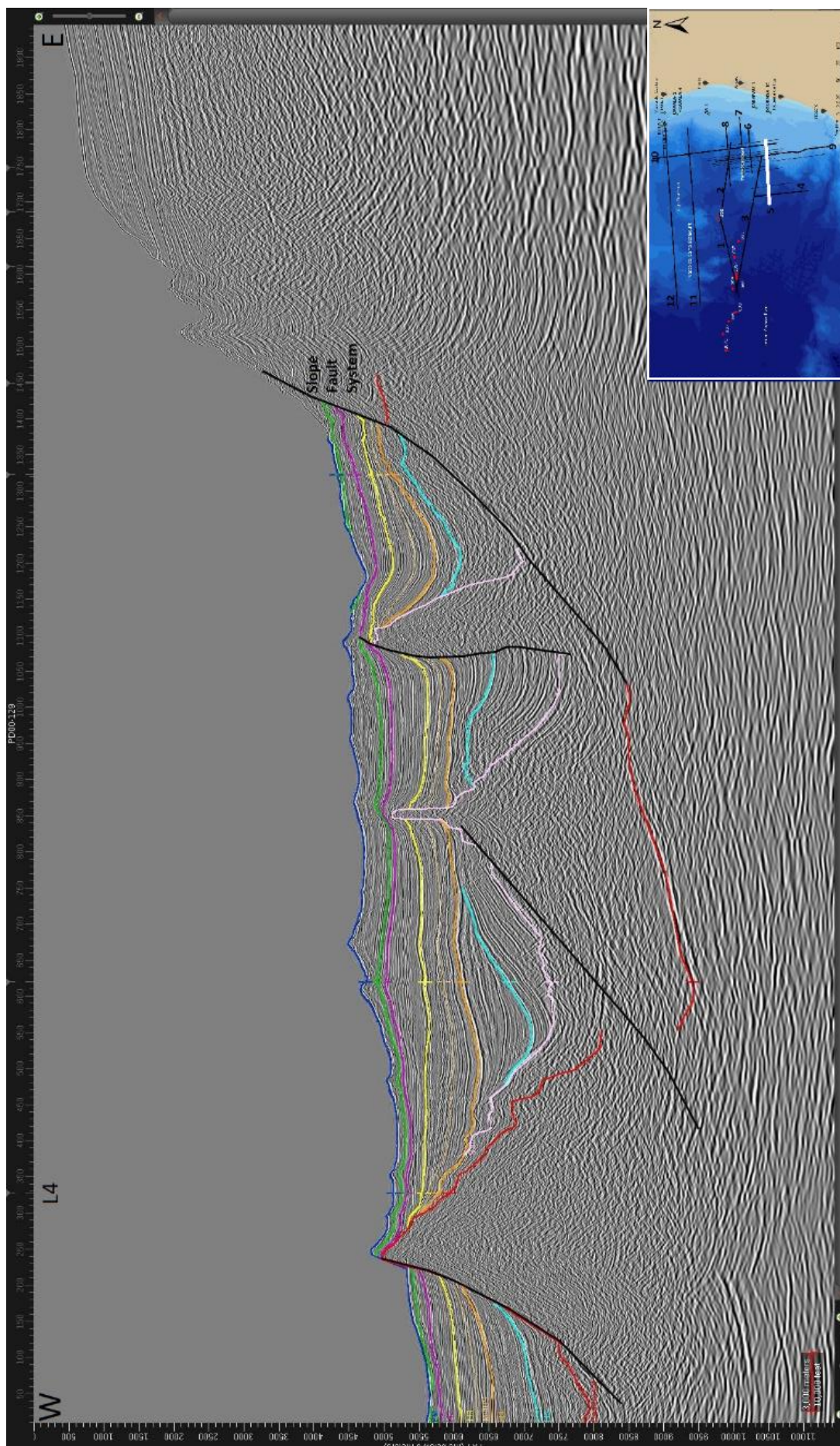


Figura A 2: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 5.



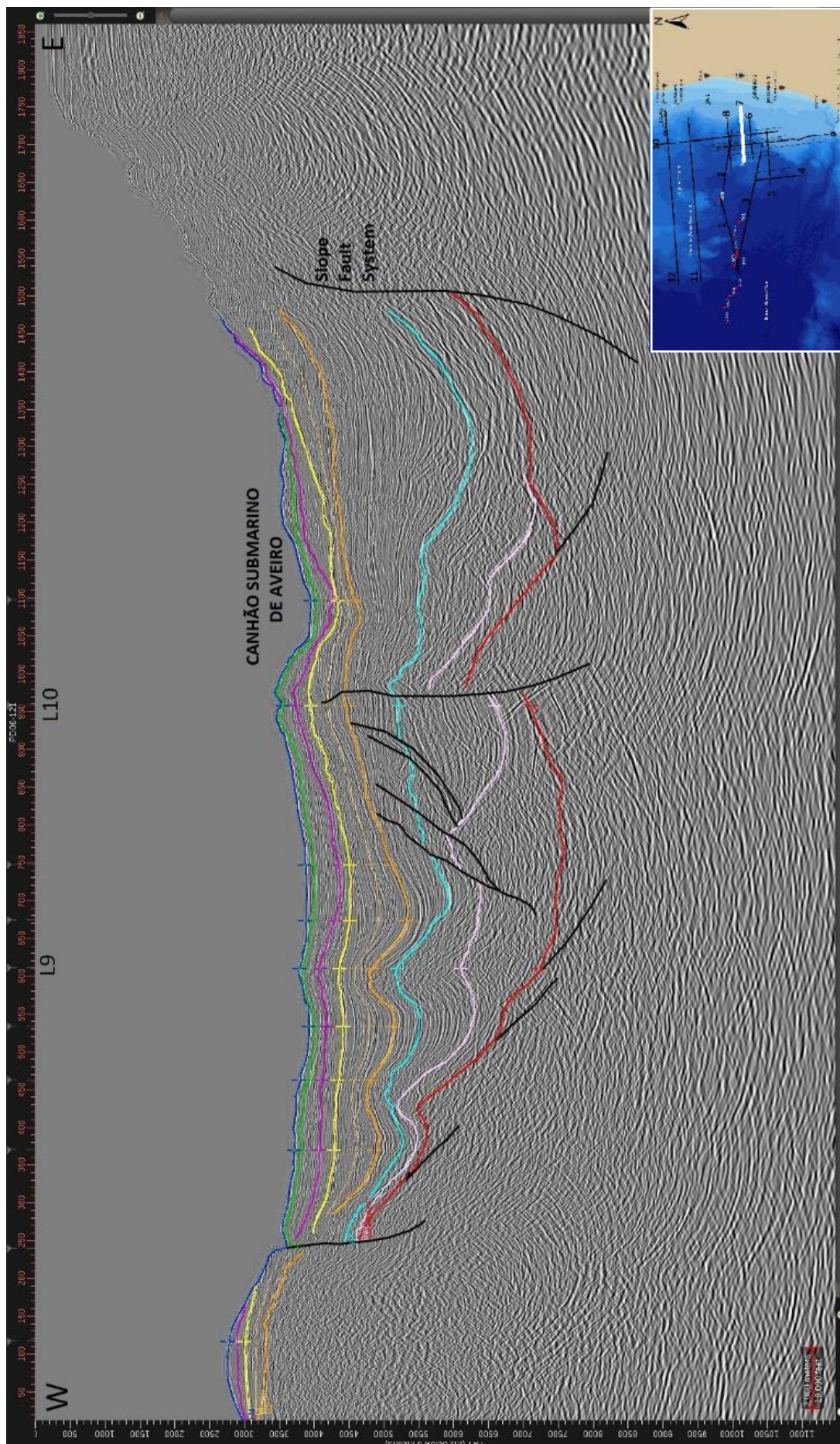


Figura A 3: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 7.



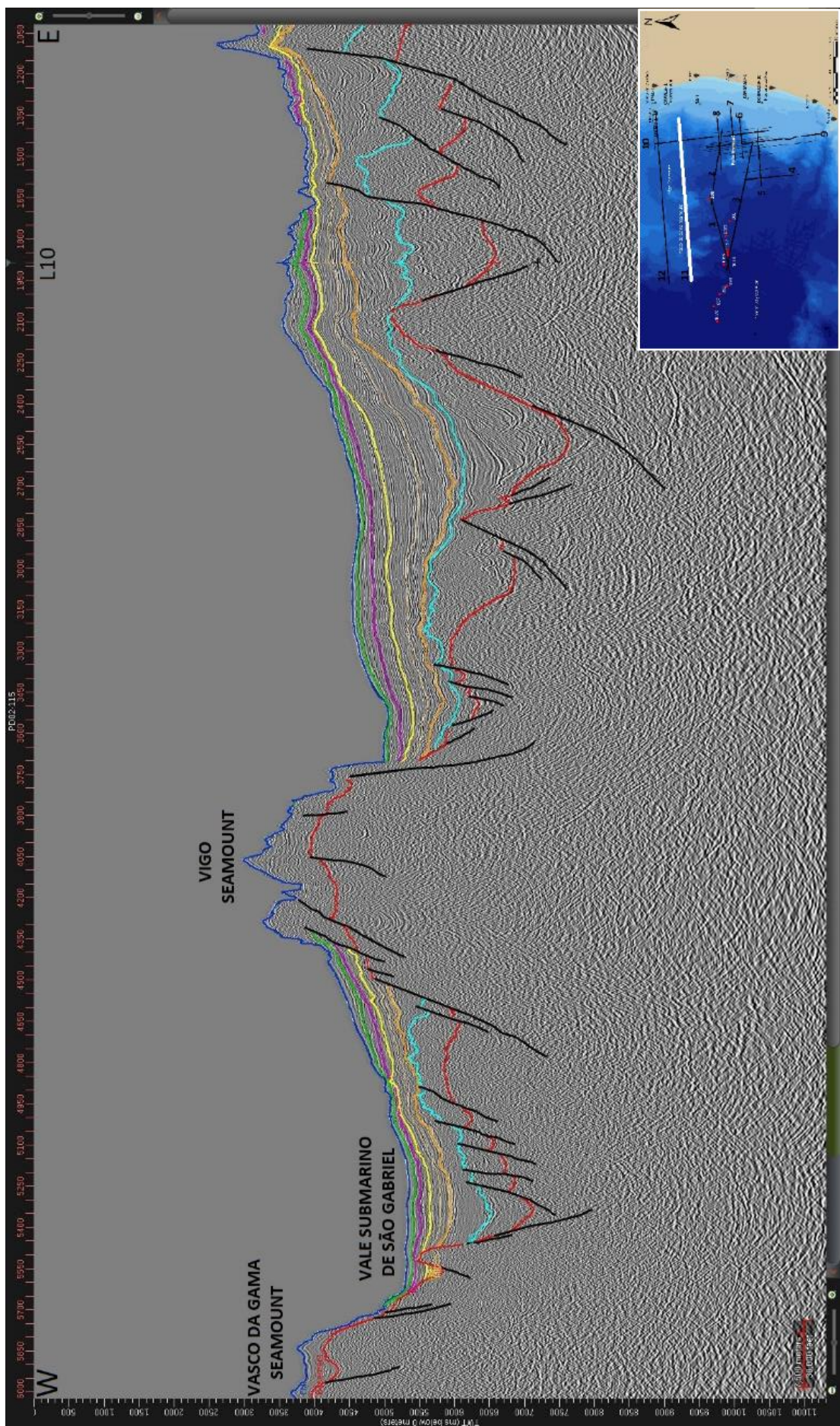


Figura A 4: Interpretação sísmo-estratigráfica da linha sísmica 11.

Tabela A 3: *Inputs* estratigráficos da PW A (Unit 3b - Intervalo gerador do Albiano).

Pseudo-Well A				Deposition age		
Name	Top (m)	Bottom (m)	Present thickness (m)	From (Ma)	To (Ma)	Lithology
Unit 1a	4451.00	4569.30	118.30	12.00	0.00	CHALK
Unit 1b	4569.30	4713.30	144.00	61.00	12.00	SHALE&SILT
Unit 2	4713.30	5245.95	532.65	94.00	61.00	SHALEcarb
Unit 3a	5245.95	5614.45	368.50	105.00	94.00	SHALEcarb
Unit 3b	5614.45	5982.95	368.50	113.00	105.00	SHALE
Unit 5	5982.95	7368.95	1386.00	216.00	113.00	SHALE&LIME

Tabela A 4: *Inputs* estratigráficos da PW B (Unit 3b - Intervalo gerador do Albiano).

Pseudo-Well B				Deposition age		
Name	Top (m)	Bottom (m)	Present thickness (m)	From (Ma)	To (Ma)	Lithology
Unit 1a	3572.00	3726.70	154.70	12.00	0.00	CHALK
Unit 1b	3726.70	4091.50	364.80	61.00	12.00	SHALE&SILT
Unit 2	4091.50	4815.10	723.60	94.00	61.00	SHALEcarb
Unit 3a	4815.10	5079.10	264.00	105.00	94.00	SHALEcarb
Unit 3b	5079.10	5343.10	264.00	113.00	105.00	SHALE
Unit 5	5343.10	6230.14	887.04	216.00	113.00	SHALE&LIME

Tabela A 5: *Inputs* estratigráficos da PW C (Unit 3b - Intervalo gerador do Albiano).

Pseudo-Well C				Deposition age		
Name	Top (m)	Bottom (m)	Present thickness (m)	From (Ma)	To (Ma)	Lithology
Unit 1a	3008.00	3344.70	336.70	12.00	0.00	CHALK
Unit 1b	3344.70	3579.90	235.20	61.00	12.00	SHALE&SILT
Unit 2	3579.90	3981.90	402.00	94.00	61.00	SHALEcarb
Unit 3a	3981.90	4419.15	437.25	105.00	94.00	SHALEcarb
Unit 3b	4419.15	4856.40	437.25	113.00	105.00	SHALE
Unit 5	4856.40	6436.44	1580.04	216.00	113.00	SHALE&LIME

Tabela A 6: *Inputs* estratigráficos da PWD (Unit 3b - Intervalo gerador do Albiano).

Pseudo-Well D				Deposition age		
Name	Top (m)	Bottom (m)	Present thickness (m)	From (Ma)	To (Ma)	Lithology
Unit 1a	2481.00	2763.10	282.10	12.00	0.00	CHALK
Unit 1b	2763.10	3137.50	374.40	61.00	12.00	SHALE&SILT
Unit 2	3137.50	3489.25	351.75	94.00	61.00	SHALEcarb
Unit 3a	3489.25	3907.25	418.00	105.00	94.00	SHALEcarb
Unit 3b	3907.25	4325.25	418.00	113.00	105.00	SHALE
Unit 4	4325.25	6152.25	1827.00	140.00	113.00	SHALE&LIME
Unit 5	6152.25	8962.03	2809.78	216.00	140.00	BASEMENT

Tabela A 7: *Inputs* estratigráficos da PWE (Unit 3b - Intervalo gerador do Albiano).

Pseudo-Well E				Deposition age		
Name	Top (m)	Bottom (m)	Present thickness (m)	From (Ma)	To (Ma)	Lithology
Unit 1a	2203.00	2539.70	336.70	12.00	0.00	CHALK
Unit 1b	2539.70	2746.10	206.40	61.00	12.00	SHALE&SILT
Unit 2	2746.10	3313.93	567.83	94.00	61.00	SHALEcarb
Unit 3a	3313.93	3654.93	341.00	105.00	94.00	SHALEcarb
Unit 3b	3654.93	3995.93	341.00	113.00	105.00	SHALE
Unit 4	3995.93	5120.93	1125.00	140.00	113.00	SHALE&LIME
Unit 5	5120.93	7297.08	2176.15	216.00	140.00	BASEMENT

Tabela A 8: *Inputs* estratigráficos da PWF (Unit 3b - Intervalo gerador do Albiano).

Pseudo-Well F				Deposition age		
Name	Top (m)	Bottom (m)	Present thickness (m)	From (Ma)	To (Ma)	Lithology
Unit 1a	2369.00	2460.00	91.00	12.00	0.00	CHALK
Unit 1b	2460.00	2844.00	384.00	61.00	12.00	SHALE&SILT
Unit 2	2844.00	3411.82	567.82	94.00	61.00	SHALEcarb
Unit 3a	3411.82	3904.07	492.25	105.00	94.00	SHALEcarb
Unit 3b	3904.07	4396.32	492.25	113.00	105.00	SHALE
Unit 4	4396.32	4946.32	550.00	140.00	113.00	SHALE&LIME
Unit 5	4946.32	5389.85	443.53	216.00	140.00	BASEMENT

Tabela A 9: *Inputs* estratigráficos da PW G (Unit 3b - Intervalo gerador do Albiano).

Pseudo-Well G				Deposition age		
Name	Top (m)	Bottom (m)	Present thickness (m)	From (Ma)	To (Ma)	Lithology
Unit 1a	2857.00	2929.80	72.80	12.00	0.00	CHALK
Unit 1b	2929.80	3261.00	331.20	61.00	12.00	SHALE&SILT
Unit 2	3261.00	3537.38	276.38	94.00	61.00	SHALEcarb
Unit 3a	3537.38	3999.38	462.00	105.00	94.00	SHALEcarb
Unit 3b	3999.38	4461.38	462.00	113.00	105.00	SHALE
Unit 4	4461.38	5123.88	662.50	140.00	113.00	SHALE&LIME
Unit 5	5123.88	6599.97	1476.09	216.00	140.00	BASEMENT